

ตารางที่ 69

ข้อกำหนดการใช้งานของสายไฟฟ้าที่ผลิตตาม มอก. 11-2531

(อุณหภูมิใช้งาน 70 องศาเซลเซียส)

สายไฟฟ้าตาม มอก. 11-2531 ตารางที่	แรงดันที่กำหนด (โวลต์)	สถานที่ใช้งาน	ลักษณะการติดตั้ง
1	300	ใช้ในสถานที่แห้งและสถานที่เปียก	-เดินลอย(Open Wiring) ต้องยึดด้วยวัสดุฉนวน -เดินในท่อสายในสถานที่แห้ง -ห้ามร้อยท่อฝังดิน หรือฝังดินโดยตรง
2	300	ใช้ในสถานที่แห้งและสถานที่เปียก	สายกลม -เดินลอย -เดินฝังในผนังปูนฉาบ -เดินซ่อน(Conceal) ในผนัง -เดินในท่อสาย -เดินร้อยท่อ (Conduit) ฝังดินได้ แต่ต้องป้องกันไม่ให้สายมีโอกาสแช่น้ำ -ห้ามฝังดิน โดยตรง สายแบน -เดินเกาะผนัง -เดินซ่อน (conceal) ในผนัง -ห้ามฝังดิน โดยตรง -เดินฝังในผนังปูนฉาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 89 (ต่อ)

สายไฟฟ้าตาม มอก. 11-2531 ตารางที่	แรงดันที่ (โวลต์)	สถานที่ใช้งาน	ลักษณะการติดตั้ง
4	750	ใช้ในสถานที่แห้ง และสถานที่เปียก	-เดินลอย(Open Wiring) ต้องยึดด้วยวัสดุ ฉนวน -เดินในท่อสายในสถานที่แห้ง -ห้ามฝังดิน โดยตรง -ร้อยท่อฝังดิน ได้ แต่ต้องป้องกันไม่ให้มี เข้าไปในท่อและป้องกันไม่ให้สายมี โอกาสแตกร้าว
5	750	ใช้ในสถานที่แห้ง	สายกลม -เดินลอย -เดินฝังในผนังปูนฉาบ -เดินซ่อน(Conceal) ในผนัง -เดินในท่อสาย -เดินร้อยท่อ (Conduit) ฝังดินได้แต่ต้อง ป้องกันไม่ให้สายมีโอกาสแตกร้าว -ห้ามฝังดิน โดยตรง สายแบน -เดินเกาะผนัง -เดินซ่อน (conceal) ในผนัง -ห้ามฝังดิน โดยตรง -เดินฝังในผนังปูนฉาบ
6	750	ใช้ในสถานที่แห้ง และสถานที่เปียก	-ใช้งานได้ทั่วไป -ฝังดิน โดยตรง
7	750	ใช้ในสถานที่แห้ง และสถานที่เปียก	-ใช้งานได้ทั่วไป -ฝังดิน โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 69 (ต่อ)

สายไฟฟ้าตาม มอก. 11-2531 ตารางที่	แรงดัน ที่ (โวลต์)	สถานที่ใช้งาน	ลักษณะการติดตั้ง
8	750	ใช้ในสถานที่แห้งและ สถานที่เปียก	-ใช้งานได้ทั่วไป -ฝังดินโดยตรง
9	750	ใช้ในสถานที่แห้งและ สถานที่เปียก	-ใช้งานได้ทั่วไป -ฝังดินโดยตรง
10	300	ใช้ในสถานที่แห้งและ สถานที่เปียก	-ใช้ต่อเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดหีบขบ ได้และใช้ต่อเข้าดวงโคม
11	300	ใช้ในสถานที่แห้งและ สถานที่เปียก	-เดินเกาะผนัง -เดินฝังในผนังปูนฉาบ -เดินซ่อน(Conceal) ในผนัง -ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
12	300	ใช้ในสถานที่แห้งและ สถานที่เปียก	-ใช้งานได้ทั่วไป -ห้ามฝังดินโดยตรง
13	750	ใช้ในสถานที่แห้งและ สถานที่เปียก	-เดินเกาะผนัง -เดินซ่อน(Conceal) ในผนัง -เดินฝังในผนังปูนฉาบ -ห้ามฝังดินโดยตรง
14	750	ใช้ในสถานที่แห้งและ สถานที่เปียก	-ใช้งานได้ทั่วไป -ฝังดินโดยตรง
15	750	ใช้ในสถานที่แห้งและ สถานที่เปียก	-ใช้ต่อเข้าเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าและ เครื่องใช้ไฟฟ้า
16	300	ใช้ในสถานที่แห้งและ สถานที่เปียก	-ใช้ต่อเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดหีบขบ ได้และใช้ต่อเข้าดวงโคม
17	300	ใช้ในสถานที่แห้งและ สถานที่เปียก	-ใช้ต่อเข้าเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าและ เครื่องใช้ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

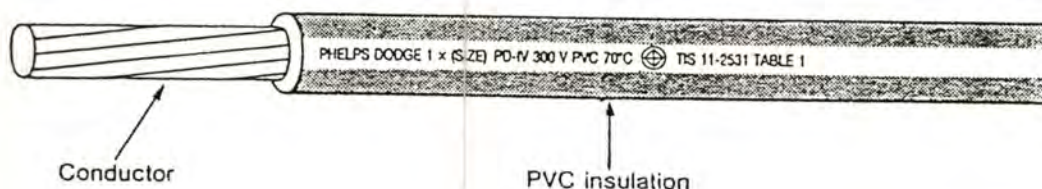
ตารางที่ 70

แสดงตารางที่ 1 ของ มอก.11-2531 (1-IV)

สายแกนเดี่ยว, ฉนวน PVC, ตัวนำทองแดง 300 V 70 °C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Cross Sectional Area (mm ²)	No./Wire Size (mm)	Insulation Thickness (mm)	Outer Diameter of Cable (Max.) (mm)	Min. Insulation Resistance at 70°C (Mohm.km)
0.5 PD-IV	0.5	1/0.80	0.6	2.6	0.014 6
1 PD-IV	1	1/1.13	0.6	2.9	0.011 5
1 PD-IV	1	7/0.40	0.6	3.1	0.011 0
1.5 PD-IV	1.5	1/1.38	0.6	3.2	0.010 0
1.5 PD-IV	1.5	7/0.50	0.6	3.4	0.009 4
2.5 PD-IV	2.5	1/1.78	0.7	3.8	0.009 2
2.5 PD-IV	2.5	7/0.67	0.7	4.1	0.008 4
4 PD-IV	4	1/2.25	0.8	4.5	0.008 6
4 PD-IV	4	7/0.85	0.8	4.9	0.007 8
6 PD-IV	6	7/1.04	0.8	5.6	0.006 6
10 PD-IV	10	7/1.35	1.0	7.0	0.006 4
16 PD-IV	16	7/1.70	1.0	8.2	0.005 3
25 PD-IV	25	7/2.14	1.2	10.0	0.005 1
35 PD-IV	35	19/1.53	1.2	11.5	0.004 3
50 PD-IV	50	19/1.78	1.4	13.0	0.004 4
70 PD-IV	70	19/2.14	1.4	15.0	0.003 7
95 PD-IV	95	19/2.52	1.6	17.5	0.003 6
120 PD-IV	120	37/2.03	1.6	19.0	0.003 2
150 PD-IV	150	37/2.25	1.8	21.5	0.003 3

Application : Building wiring, for installation on insulator
or in raceway, dry and wet location.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

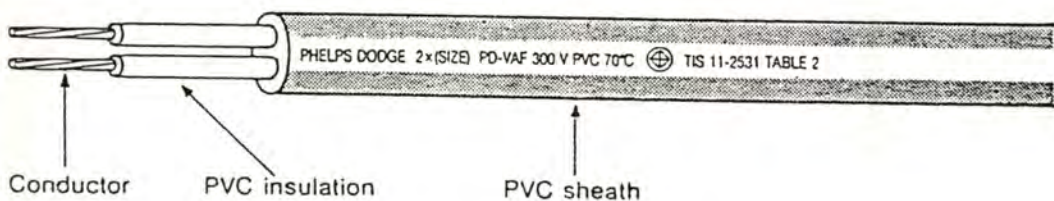
ตารางที่ 71

แสดงตารางที่ 2 ของ มอก.11-2531 (2-VAF)

สาย 2 แกนแบบ Flat , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง 300 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Cross Sectional Area (mm ²)	No./Wire Size (mm)	Insulation Thickness (mm)	Sheath Thickness (mm)
2×0.5 PD-VAF	0.5	1/0.80	0.6	0.9
2×1 PD-VAF	1	1/1.13	0.6	0.9
2×1 PD-VAF	1	7/0.40	0.6	0.9
2×1.5 PD-VAF	1.5	1/1.38	0.6	1.2
2×1.5 PD-VAF	1.5	7/0.50	0.6	1.2
2×2.5 PD-VAF	2.5	1/1.78	0.7	1.2
2×2.5 PD-VAF	2.5	7/0.67	0.7	1.2
2×4 PD-VAF	4	1/2.25	0.8	1.2
2×4 PD-VAF	4	7/0.85	0.8	1.2
2×6 PD-VAF	6	7/1.04	0.8	1.2
2×10 PD-VAF	10	7/1.35	0.9	1.2
2×16 PD-VAF	16	7/1.70	1.0	1.2
2×25 PD-VAF	25	7/2.14	1.2	1.4
2×35 PD-VAF	35	19/1.53	1.2	1.4

Application : For surface or above ceiling wiring
or direct embeded in plaster.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

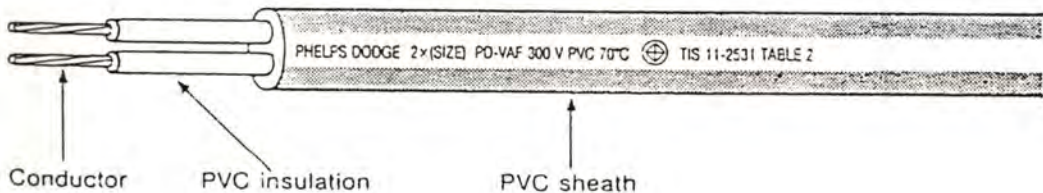
ตารางที่ 71 (ต่อ)

แสดงตารางที่ 2 ของ มอก.11-2531 (2-VAF)

สาย 2 แกนแบบ Flat , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง 300 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Outer Diameter Of Cable (mm)		Min. Insulation Resistance at 70°C (Mohm.km)
	Min.	Max.	
2×0.5 PD-VAF	3.60×5.60	4.60×7.10	0.014 6
2×1 PD-VAF	4.00×6.20	5.00×7.75	0.011 5
2×1 PD-VAF	4.00×6.40	5.25×8.15	0.011 0
2×1.5 PD-VAF	4.80×7.20	6.05×9.00	0.010 0
2×1.5 PD-VAF	4.90×7.40	6.30×9.65	0.009 4
2×2.5 PD-VAF	5.40×8.40	6.70×10.50	0.009 2
2×2.5 PD-VAF	5.60×8.80	7.10×11.00	0.008 4
2×4 PD-VAF	6.00×9.80	7.55×12.05	0.008 6
2×4 PD-VAF	6.20×10.00	7.95×12.60	0.007 8
2×6 PD-VAF	6.80×11.00	8.60×14.15	0.006 6
2×10 PD-VAF	8.00×13.50	9.85×16.80	0.005 9
2×16 PD-VAF	9.20×16.00	11.55×19.40	0.005 3
2×25 PD-VAF	11.00×19.50	13.65×23.60	0.005 1
2×35 PD-VAF	12.00×22.00	15.20×26.20	0.004 3

Application : For surface or above ceiling wiring
or direct embedded in plaster.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

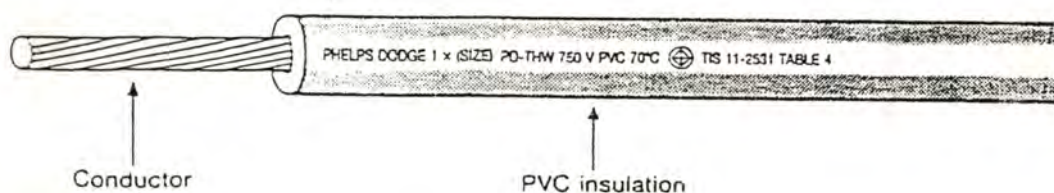
ตารางที่ 72

แสดงตารางที่ 4 ของ มอก. 11-2531 (1-THW)

สายแกนเดี่ยว , ฉนวน PVC , ตัวนำทองแดง 750 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Cross Sectional Area (mm ²)	No./Wire Size (mm)	Insulation Thickness (mm)	Outer Diameter of Cable (Max.) (mm)	Min. Insulation Resistance at 70°C (Mohm.km)
0.5 PD-THW	0.5	1/0.80	0.8	3.0	0.017 5
1 PD-THW	1	1/1.13	0.8	3.3	0.014 1
1 PD-THW	1	7/0.40	0.8	3.5	0.013 5
1.5 PD-THW	1.5	1/1.38	0.8	3.6	0.012 3
1.5 PD-THW	1.5	7/0.50	0.8	3.8	0.011 6
2.5 PD-THW	2.5	1/1.78	0.8	4.0	0.010 2
2.5 PD-THW	2.5	7/0.67	0.8	4.3	0.009 3
4 PD-THW	4	1/2.25	0.9	4.8	0.009 4
4 PD-THW	4	7/0.85	0.9	5.2	0.008 5
6 PD-THW	6	7/1.04	0.9	5.8	0.007 3
10 PD-THW	10	7/1.35	1.1	7.2	0.006 9
16 PD-THW	16	7/1.70	1.1	8.4	0.005 7
25 PD-THW	25	7/2.14	1.3	10.5	0.005 4
35 PD-THW	35	19/1.53	1.3	11.5	0.004 7
50 PD-THW	50	19/1.78	1.5	13.5	0.004 6
70 PD-THW	70	19/2.14	1.5	15.5	0.003 9
95 PD-THW	95	19/2.52	1.7	18.0	0.003 8
120 PD-THW	120	37/2.03	1.7	19.5	0.003 4
150 PD-THW	150	37/2.25	1.9	21.5	0.003 4
185 PD-THW	185	37/2.52	2.1	24.0	0.003 4
240 PD-THW	240	61/2.25	2.3	27.0	0.003 3
300 PD-THW	300	61/2.52	2.5	30.0	0.003 2
400 PD-THW	400	61/2.85	2.7	33.5	0.003 0
500 PD-THW	500	61/3.20	3.1	38.0	0.003 1

*Application : Building wiring, for installation on insulator
or in raceway, dry and wet location.*

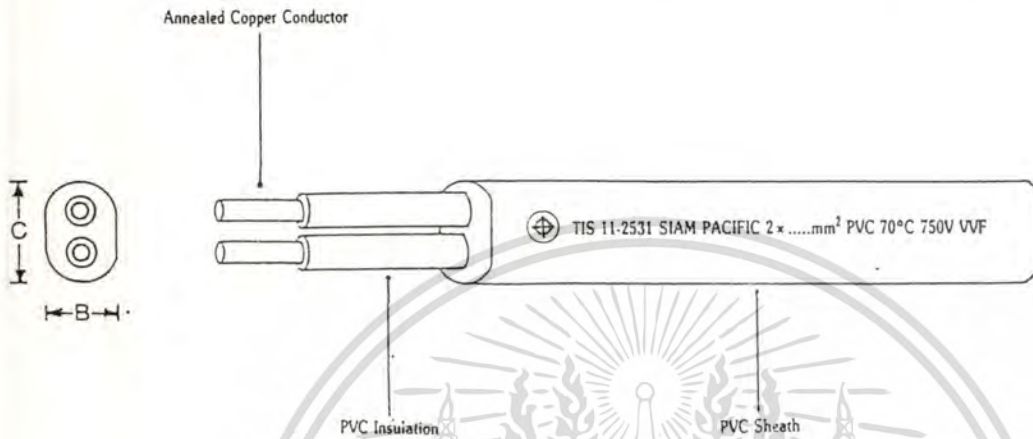


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 73

แสดงตารางที่ 5 ของ มอก.11-2531 (2-VVF)

สาย 2 แกน , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง 750 V. 70°C



Construction

Conductor : Solid or stranded annealed copper wire.
 Insulation : Polyvinyl chloride.
 Colour of core : Light grey and black.
 Sheath : White polyvinyl chloride.

Application

For fixed installation in damp location or direct laying in plaster.

Nominal Area Of Conductor	Number/ Nominal Wire Diameter In Conductor	Thickness Of Insulation	Thickness Of Sheath	Overall Cable Diameter In mm		Minimum Insulation Resistance At 70°C	Ampacity In Free Air For 70°C	Approx. Cable Weight	Standard Length
				Lower Limit	Upper Limit				
(mm ²)	(No./mm)	(mm)	(mm)	(B × C)	(B × C)	(MΩ-km)	(A)	(kg/km)	(M)
1	1/1.13	0.8	1.4	5.2 × 8.0	6.4 × 9.4	0.0141	13	80	100/C
1	7/0.40	0.8	1.4	5.4 × 8.0	6.6 × 9.8	0.0135	13	80	100/C
1.5	1/1.38	0.8	1.4	5.6 × 8.4	6.6 × 10.0	0.0123	17	95	100/C
1.5	7/0.50	0.8	1.4	5.6 × 8.6	7.0 × 10.5	0.0116	17	100	100/C
2.5	1/1.78	0.8	1.4	5.8 × 9.2	7.2 × 11.0	0.0102	22	125	100/C
2.5	7/0.67	0.8	1.4	6.2 × 9.6	7.4 × 11.5	0.0093	22	130	100/C
4	1/2.25	0.9	1.4	6.6 × 10.5	7.8 × 12.5	0.0094	30	170	100/C
4	7/0.85	0.9	1.4	6.8 × 11.0	8.2 × 13.0	0.0085	30	180	100/C
6	7/1.04	0.9	1.4	7.4 × 12.0	8.8 × 14.5	0.0073	38	230	100/C
10	7/1.35	1.1	1.5	8.8 × 15.0	10.5 × 17.0	0.0069	53	350	100/C
16	7/1.70	1.1	1.5	9.8 × 17.0	11.5 × 19.5	0.0057	70	490	100/C
25	7/2.14	1.3	1.6	11.5 × 20.5	13.5 × 23.5	0.0054	93	740	300/D
35	19/1.53	1.3	1.7	13.0 × 23.0	15.0 × 26.5	0.0047	114	970	300/D

C : Packing in Coil.

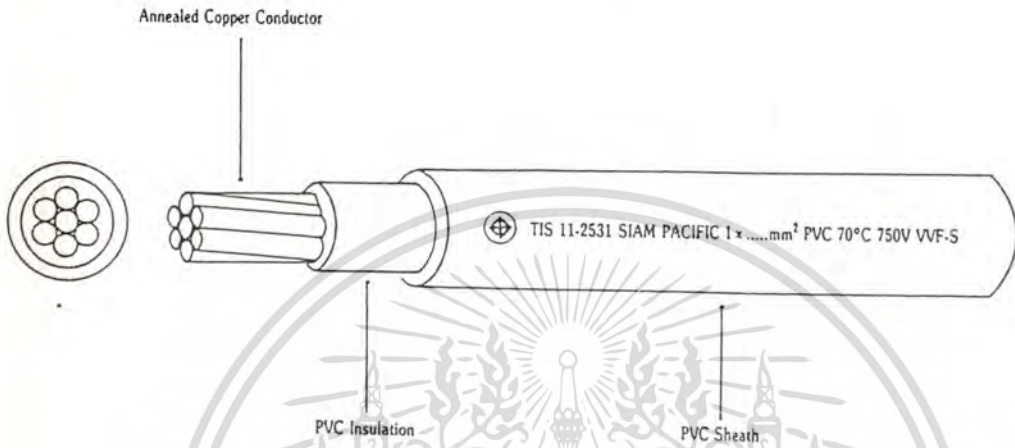
D : Packing in Drum.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 73 (ต่อ)

แสดงตารางที่ 5 ของ มอก.11-2531 (1-VVF-S)

สายแกนเดี่ยว , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 750 V. 70°C



Construction

Conductor : Solid or stranded annealed copper wire.
 Insulation : Polyvinyl chloride.
 Colour of core : Red or black. (any colour as requested)
 Sheath : White polyvinyl chloride.

Application

For fixed installation in damp location or direct laying in plaster.

Nominal Area Of Conductor (mm ²)	Number/ Nominal Wire Diameter In Conductor (No/mm)	Thickness Of Insulation (mm)	Thickness Of Sheath (mm)	Max. Overall Cable Diameter (mm)	Minimum Insulation Resistance At 70°C (MΩ-km)	Ampacity In Free Air For 70°C (A)	Approx. Cable Weight (kg/km)	Standard Length (M)
1	1/1.13	0.8	1.0	5.4	0.0141	16	40	100/C
1	7/0.40	0.8	1.0	5.6	0.0135	16	45	100/C
1.5	1/1.38	0.8	1.0	5.8	0.0123	20	50	100/C
1.5	7/0.50	0.8	1.0	6.0	0.0116	20	50	100/C
2.5	1/1.78	0.8	1.2	6.6	0.0102	27	65	100/C
2.5	7/0.67	0.8	1.2	7.0	0.0093	27	70	100/C
4	1/2.25	0.9	1.2	7.4	0.0094	36	85	100/C
4	7/0.85	0.9	1.2	7.8	0.0085	36	90	100/C
6	7/1.04	0.9	1.4	8.8	0.0073	47	125	100/C
10	7/1.35	1.1	1.4	10.5	0.0069	65	180	100/C
16	7/1.70	1.1	1.5	11.5	0.0057	86	260	100/C
25	7/2.14	1.3	1.5	13.5	0.0054	116	370	100/C
35	19/1.53	1.3	1.6	15.0	0.0047	145	490	100/C

C Packing in Coil

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

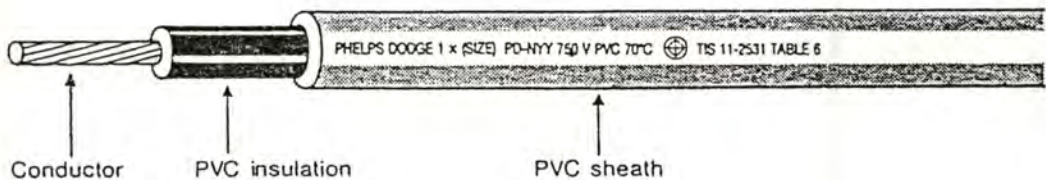
ตารางที่ 74

แสดงตารางที่ 6 ของ มอก.11-2531 (1-NYY)

สายแกนเดี่ยว , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 750 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Cross Sectional Area (mm ²)	No./Wire Size (mm)	Insulation Thickness (mm)
1 PD-NYY	1	1/1.13	1.5
1 PD-NYY	1	7/0.40	1.5
1.5 PD-NYY	1.5	1/1.38	1.5
1.5 PD-NYY	1.5	7/0.50	1.5
2.5 PD-NYY	2.5	1/1.78	1.5
2.5 PD-NYY	2.5	7/0.67	1.5
4 PD-NYY	4	1/2.25	1.5
4 PD-NYY	4	7/0.85	1.5
6 PD-NYY	6	7/1.04	1.5
10 PD-NYY	10	7/1.35	1.5
16 PD-NYY	16	7/1.70	1.5
25 PD-NYY	25	7/2.14	1.5
35 PD-NYY	35	19/1.53	1.5
50 PD-NYY	50	19/1.78	1.5
70 PD-NYY	70	19/2.14	1.5
95 PD-NYY	95	19/2.52	1.7
120 PD-NYY	120	37/2.03	1.7
150 PD-NYY	150	37/2.25	1.9
185 PD-NYY	185	37/2.52	2.1
240 PD-NYY	240	61/2.25	2.3
300 PD-NYY	300	61/2.52	2.5
400 PD-NYY	400	61/2.85	2.7
500 PD-NYY	500	61/3.20	3.1

*Application : For installation exposed, or in raceway,
dry or wet location, or direct burying in ground.*



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

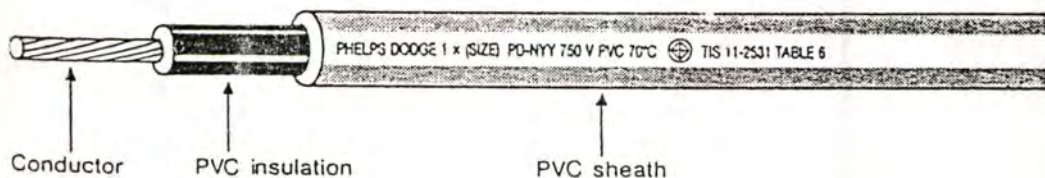
ตารางที่ 74 (ต่อ)

แสดงตารางที่ 6 ของ มอก.11-2531 (1-NYY)

สายแกนเดี่ยว , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 750 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Sheath Thickness (mm)	Outer Diameter of Cable (Max.) (mm)	Min. Insulation Resistance at 70°C (Mohm.km)
1 PD-NYY	1.8	8.6	0.020 7
1 PD-NYY	1.8	8.8	0.020 0
1.5 PD-NYY	1.8	9.0	0.018 4
1.5 PD-NYY	1.8	9.2	0.017 5
2.5 PD-NYY	1.8	9.4	0.015 7
2.5 PD-NYY	1.8	9.8	0.014 6
4 PD-NYY	1.8	10.0	0.013 5
4 PD-NYY	1.8	10.5	0.012 4
6 PD-NYY	1.8	11.0	0.010 7
10 PD-NYY	1.8	12.0	0.008 8
16 PD-NYY	1.8	13.0	0.007 4
25 PD-NYY	1.8	14.5	0.006 1
35 PD-NYY	1.8	16.0	0.005 3
50 PD-NYY	1.8	17.0	0.004 6
70 PD-NYY	1.8	19.0	0.003 9
95 PD-NYY	1.8	21.5	0.003 8
120 PD-NYY	1.8	23.0	0.003 4
150 PD-NYY	2.0	26.0	0.003 4
185 PD-NYY	2.0	28.0	0.003 4
240 PD-NYY	2.2	31.5	0.003 3
300 PD-NYY	2.2	35.0	0.003 2
400 PD-NYY	2.2	38.5	0.003 0
500 PD-NYY	2.4	43.0	0.003 1

Application : For installation exposed, or in raceway,
dry or wet location, or direct burying in ground.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

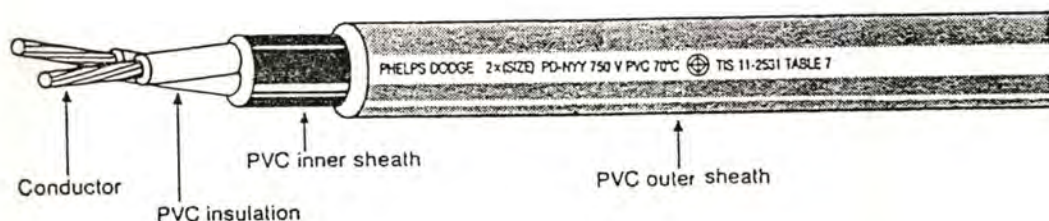
ตารางที่ 75

แสดงตารางที่ 7 ของ มอก.11-2531 (2-NYY)

สาย 2 แกน , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 750 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Cross Sectional Area (mm ²)	No./Wire Size (mm)	Insulation Thickness (mm)	Inner Sheath Thickness (mm)
2×1 PD-NYY	1	1/1.13	0.8	0.8
2×1 PD-NYY	1	7/0.40	0.8	0.8
2×1.5 PD-NYY	1.5	1/1.38	0.8	0.8
2×1.5 PD-NYY	1.5	7/0.50	0.8	0.8
2×2.5 PD-NYY	2.5	1/1.78	0.8	0.8
2×2.5 PD-NYY	2.5	7/0.67	0.8	0.8
2×4 PD-NYY	4	1/2.25	0.9	0.8
2×4 PD-NYY	4	7/0.85	0.9	0.8
2×6 PD-NYY	6	7/1.04	0.9	0.8
2×10 PD-NYY	10	7/1.35	1.1	0.8
2×16 PD-NYY	16	7/1.70	1.1	0.8
2×25 PD-NYY	25	7/2.14	1.3	1.2
2×35 PD-NYY	35	19/1.53	1.3	1.2
2×50 PD-NYY	50	19/1.78	1.5	1.2
2×70 PD-NYY	70	19/2.14	1.5	1.5
2×95 PD-NYY	95	19/2.52	1.7	1.5
2×120 PD-NYY	120	37/2.03	1.7	1.5
2×150 PD-NYY	150	37/2.25	1.9	1.8
2×185 PD-NYY	185	37/2.52	2.1	1.8
2×240 PD-NYY	240	61/2.25	2.3	2.0
2×300 PD-NYY	300	61/2.52	2.5	2.0

Application : For installation exposed, or in raceway,
dry or wet location, or direct burying in ground.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

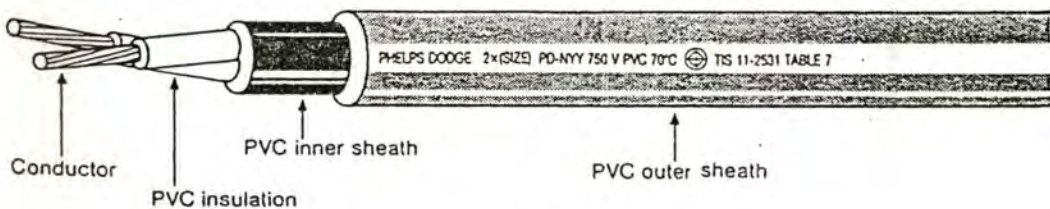
ตารางที่ 75 (ต่อ)

แสดงตารางที่ 7 ของ มอก.11-2531 (2-NYY)

สาย 2 แกน , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 750 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Outer Sheath Thickness (mm)	Outer Diameter of Cable (Max.) (mm)	Min. Insulation Resistance at 70°C (Mohm.km)
2×1 PD-NYY	1.8	12.60	0.014 1
2×1 PD-NYY	1.8	13.10	0.013 5
2×1.5 PD-NYY	1.8	13.10	0.012 3
2×1.5 PD-NYY	1.8	13.65	0.011 6
2×2.5 PD-NYY	1.8	14.15	0.010 2
2×2.5 PD-NYY	1.8	14.70	0.009 3
2×4 PD-NYY	1.8	15.75	0.009 4
2×4 PD-NYY	1.8	16.25	0.008 5
2×6 PD-NYY	1.8	17.85	0.007 3
2×10 PD-NYY	1.8	20.45	0.006 9
2×16 PD-NYY	2.0	23.60	0.005 7
2×25 PD-NYY	2.0	28.35	0.005 4
2×35 PD-NYY	2.0	30.95	0.004 7
2×50 PD-NYY	2.2	35.15	0.004 6
2×70 PD-NYY	2.2	39.90	0.003 9
2×95 PD-NYY	2.2	44.60	0.003 8
2×120 PD-NYY	2.4	48.80	0.003 4
2×150 PD-NYY	2.6	54.60	0.003 4
2×185 PD-NYY	2.8	59.85	0.003 4
2×240 PD-NYY	3.0	67.20	0.003 3
2×300 PD-NYY	3.2	74.00	0.003 2

Application : For installation exposed, or in raceway,
dry or wet location, or direct burying in ground.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

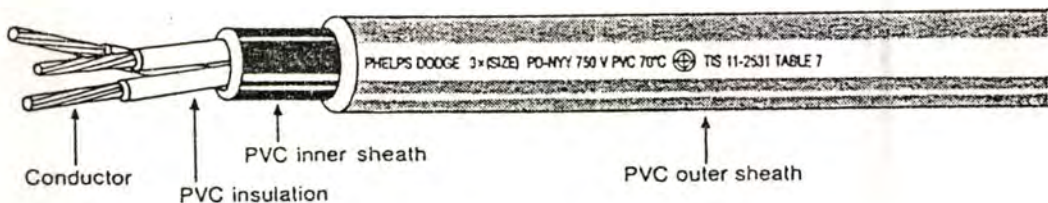
ตารางที่ 75 (ต่อ)

แสดงตารางที่ 7 ของ มอก.11-2531 (3-NYY)

สาย 3 แกน , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 750 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Cross Sectional Area (mm ²)	No./Wire Size (mm)	Insulation Thickness (mm)	Inner Sheath Thickness (mm)
3×1 PD-NYY	1	1/1.13	0.8	0.8
3×1 PD-NYY	1	7/0.40	0.8	0.8
3×1.5 PD-NYY	1.5	1/1.38	0.8	0.8
3×1.5 PD-NYY	1.5	7/0.50	0.8	0.8
3×2.5 PD-NYY	2.5	1/1.78	0.8	0.8
3×2.5 PD-NYY	2.5	7/0.67	0.8	0.8
3×4 PD-NYY	4	1/2.25	0.9	0.8
3×4 PD-NYY	4	7/0.85	0.9	0.8
3×6 PD-NYY	6	7/1.04	0.9	0.8
3×10 PD-NYY	10	7/1.35	1.1	0.8
3×16 PD-NYY	16	7/1.70	1.1	1.2
3×25 PD-NYY	25	7/2.14	1.3	1.2
3×35 PD-NYY	35	19/1.53	1.3	1.2
3×50 PD-NYY	50	19/1.78	1.5	1.5
3×70 PD-NYY	70	19/2.14	1.5	1.5
3×95 PD-NYY	95	19/2.52	1.7	1.5
3×120 PD-NYY	120	37/2.03	1.7	1.8
3×150 PD-NYY	150	37/2.25	1.9	1.8
3×185 PD-NYY	185	37/2.52	2.1	2.0
3×240 PD-NYY	240	61/2.25	2.3	2.0
3×300 PD-NYY	300	61/2.52	2.5	2.2

Application : For installation exposed, or in raceway,
dry or wet location, or direct burying in ground.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

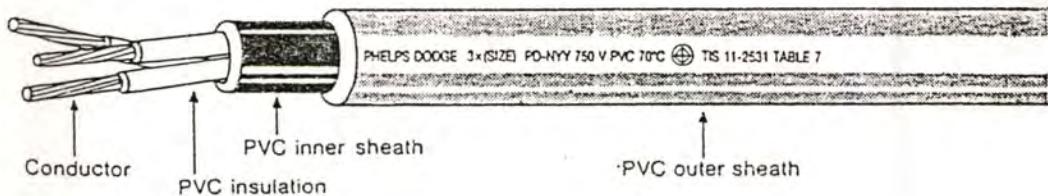
ตารางที่ 75 (ต่อ)

แสดงตารางที่ 7 ของ มอก.11-2531 (3-NYY)

สาย 3 แกน , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 750 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Outer Sheath Thickness (mm)	Outer Diameter of Cable (Max.) (mm)	Min. Insulation Resistance at 70°C (Mohm.km)
3×1 PD-NYY	1.8	13.10	0.014 1
3×1 PD-NYY	1.8	13.65	0.013 5
3×1.5 PD-NYY	1.8	13.65	0.012 3
3×1.5 PD-NYY	1.8	14.15	0.011 6
3×2.5 PD-NYY	1.8	14.70	0.010 2
3×2.5 PD-NYY	1.8	15.75	0.009 3
3×4 PD-NYY	1.8	16.25	0.009 4
3×4 PD-NYY	1.8	17.30	0.008 5
3×6 PD-NYY	1.8	18.90	0.007 3
3×10 PD-NYY	1.8	21.50	0.006 9
3×16 PD-NYY	2.0	25.70	0.005 7
3×25 PD-NYY	2.0	29.90	0.005 4
3×35 PD-NYY	2.0	33.05	0.004 7
3×50 PD-NYY	2.2	37.80	0.004 6
3×70 PD-NYY	2.2	42.50	0.003 9
3×95 PD-NYY	2.4	48.30	0.003 8
3×120 PD-NYY	2.6	53.00	0.003 4
3×150 PD-NYY	2.8	58.80	0.003 4
3×185 PD-NYY	3.0	64.55	0.003 4
3×240 PD-NYY	3.2	72.45	0.003 3
3×300 PD-NYY	3.4	79.80	0.003 2

Application : For installation exposed, or in raceway,
dry or wet location, or direct burying in ground.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

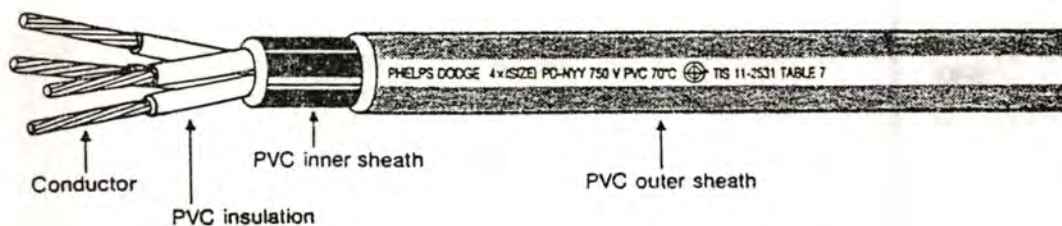
ตารางที่ 75 (ต่อ)

แสดงตารางที่ 7 ของ มอก.11-2531 (4-NYY)

สาย 4 แกน , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 750 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Cross Sectional Area (mm ²)	No./Wire Size (mm)	Insulation Thickness (mm)	Inner Sheath Thickness (mm)
4 × 1 PD-NYY	1	1/1.13	0.8	0.8
4 × 1 PD-NYY	1	7/0.40	0.8	0.8
4 × 1.5 PD-NYY	1.5	1/1.38	0.8	0.8
4 × 1.5 PD-NYY	1.5	7/0.50	0.8	0.8
4 × 2.5 PD-NYY	2.5	1/1.78	0.8	0.8
4 × 2.5 PD-NYY	2.5	7/0.67	0.8	0.8
4 × 4 PD-NYY	4	1/2.25	0.9	0.8
4 × 4 PD-NYY	4	7/0.85	0.9	0.8
4 × 6 PD-NYY	6	7/1.04	0.9	0.8
4 × 10 PD-NYY	10	7/1.35	1.1	0.8
4 × 16 PD-NYY	16	7/1.70	1.1	1.2
4 × 25 PD-NYY	25	7/2.14	1.3	1.2
4 × 35 PD-NYY	35	19/1.53	1.3	1.5
4 × 50 PD-NYY	50	19/1.78	1.5	1.5
4 × 70 PD-NYY	70	19/2.14	1.5	1.5
4 × 95 PD-NYY	95	19/2.52	1.7	1.8
4 × 120 PD-NYY	120	37/2.03	1.7	1.8
4 × 150 PD-NYY	150	37/2.25	1.9	2.0
4 × 185 PD-NYY	185	37/2.52	2.1	2.0
4 × 240 PD-NYY	240	61/2.25	2.3	2.2
4 × 300 PD-NYY	300	61/2.52	2.5	2.2

Application : For installation exposed, or in raceway,
dry or wet location, or direct burying in ground.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

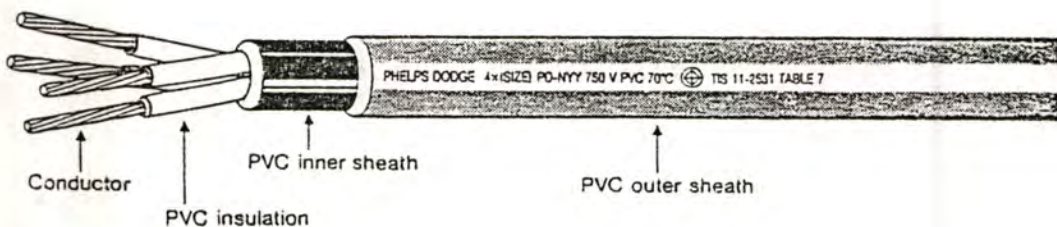
ตารางที่ 75 (ต่อ)

แสดงตารางที่ 7 ของ มอก.11-2531 (4-NYY)

สาย 4 แกน , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 750 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Outer Sheath Thickness (mm)	Outer Diameter of Cable (Max.) (mm)	Min. Insulation Resistance at 70°C (Mohm.km)
4×1 PD-NYY	1.8	14.15	0.014 1
4×1 PD-NYY	1.8	14.70	0.013 5
4×1.5 PD-NYY	1.8	14.70	0.012 3
4×1.5 PD-NYY	1.8	15.20	0.011 6
4×2.5 PD-NYY	1.8	15.75	0.010 2
4×2.5 PD-NYY	1.8	16.80	0.009 3
4×4 PD-NYY	1.8	17.85	0.009 4
4×4 PD-NYY	1.8	18.35	0.008 5
4×6 PD-NYY	1.8	19.95	0.007 3
4×10 PD-NYY	2.0	24.15	0.006 3
4×16 PD-NYY	2.0	27.80	0.005 7
4×25 PD-NYY	2.0	32.55	0.005 4
4×35 PD-NYY	2.2	36.75	0.004 7
4×50 PD-NYY	2.2	41.45	0.004 6
4×70 PD-NYY	2.4	46.70	0.003 9
4×95 PD-NYY	2.6	54.05	0.003 8
4×120 PD-NYY	2.8	58.80	0.003 4
4×150 PD-NYY	3.0	65.10	0.003 4
4×185 PD-NYY	3.2	71.40	0.003 4
4×240 PD-NYY	3.4	80.30	0.003 3
4×300 PD-NYY	3.8	89.25	0.003 2

Application : For installation exposed, or in raceway,
dry or wet location, or direct burying in ground.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

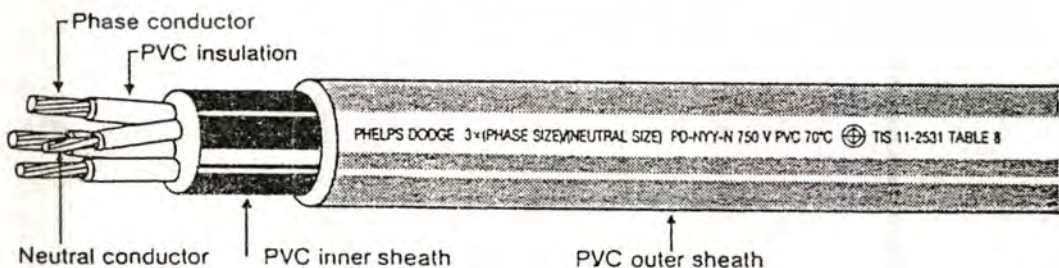
ตารางที่ 76

แสดงตารางที่ 8 ของ มอก.11-2531 (3-NYY-N)

สาย 3 แกนมีสายนิวทรัล , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 750 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Cross Sectional Area (mm ²)		No./Wire Size (mm)		Insulation Thickness (mm)	
	Conductor	Neutral	Conductor	Neutral	Conductor	Neutral
3×6/4 PD-NYY-N	3×6	1×4	7/1.04	7/0.85	0.9	0.9
3×10/6 PD-NYY-N	3×10	1×6	7/1.35	7/1.04	1.1	0.9
3×16/10 PD-NYY-N	3×16	1×10	7/1.70	7/1.35	1.1	1.1
3×25/16 PD-NYY-N	3×25	1×16	7/2.14	7/1.70	1.3	1.1
3×35/16 PD-NYY-N	3×35	1×16	19/1.53	7/1.70	1.3	1.1
3×50/25 PD-NYY-N	3×50	1×25	19/1.78	7/2.14	1.5	1.3
3×70/35 PD-NYY-N	3×70	1×35	19/2.14	19/1.53	1.5	1.3
3×95/50 PD-NYY-N	3×95	1×50	19/2.52	19/1.78	1.7	1.5
3×120/70 PD-NYY-N	3×120	1×70	37/2.03	19/2.14	1.7	1.5
3×150/70 PD-NYY-N	3×150	1×70	37/2.25	19/2.14	1.9	1.5
3×185/95 PD-NYY-N	3×185	1×95	37/2.52	19/2.52	2.1	1.7
3×240/120 PD-NYY-N	3×240	1×120	61/2.25	37/2.03	2.3	1.7
3×300/150 PD-NYY-N	3×300	1×150	61/2.52	37/2.25	2.5	1.9

Application : For installation exposed, or in raceway, dry or wet location, or direct burying in ground.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

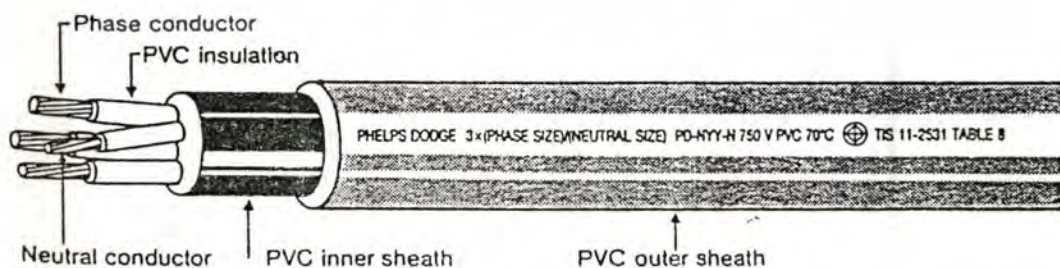
ตารางที่ 76 (ต่อ)

แสดงตารางที่ 8 ของ มอก.11-2531 (3-NYY-N)

สาย 3 แกนมีสายนิวทรัล , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 750 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Inner Sheath Thickness (mm)	Outer Sheath Thickness (mm)	Outer Diameter of Cable (Max.) (mm)	Min. Insulation Resistance at 70°C (Mohm.km)
3×6/4 PD-NYY-N	0.8	0.8	19.95	0.007 3
3×10/6 PD-NYY-N	0.8	2.0	24.15	0.006 9
3×16/10 PD-NYY-N	1.2	2.0	27.80	0.005 7
3×25/16 PD-NYY-N	1.2	2.0	32.55	0.005 4
3×35/16 PD-NYY-N	1.5	2.2	36.75	0.004 7
3×50/25 PD-NYY-N	1.5	2.2	41.45	0.004 6
3×70/35 PD-NYY-N	1.5	2.4	46.70	0.003 9
3×95/50 PD-NYY-N	1.8	2.6	54.05	0.003 8
3×120/70 PD-NYY-N	1.8	2.8	53.80	0.003 4
3×150/70 PD-NYY-N	2.0	3.0	65.10	0.003 4
3×185/95 PD-NYY-N	2.0	3.2	71.40	0.003 4
3×240/120 PD-NYY-N	2.2	3.4	80.30	0.003 3
3×300/150 PD-NYY-N	2.2	3.8	88.70	0.003 2

Application : For installation exposed, or in raceway, dry or wet location, or direct burying in ground.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

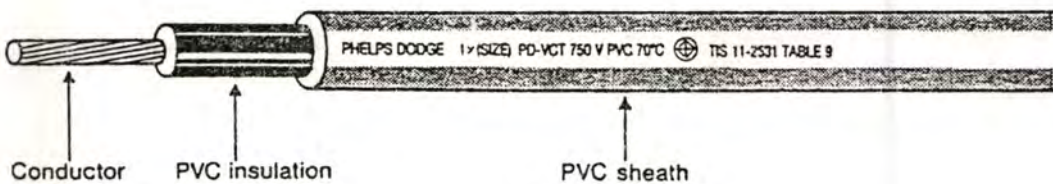
ตารางที่ 77

แสดงตารางที่ 9 ของ มอก.11-2531 (1-VCT)

สายอ่อน 1 แกน , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 750 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Cross Sectional Area (mm ²)	No./Wire Size (mm)	Insulation Thickness (mm)
0.5 PD-VCT	0.5	16/0.20	0.8
0.75 PD-VCT	0.75	24/0.20	0.8
1 PD-VCT	1	32/0.20	0.8
1.5 PD-VCT	1.5	30/0.25	0.8
2.5 PD-VCT	2.5	50/0.25	0.8
4 PD-VCT	4	56/0.30	0.9
6 PD-VCT	6	84/0.30	0.9
10 PD-VCT	10	80/0.40	1.1
16 PD-VCT	16	126/0.40	1.1
25 PD-VCT	25	196/0.40	1.3
35 PD-VCT	35	276/0.40	1.3
50 PD-VCT	50	396/0.40	1.5
70 PD-VCT	70	360/0.50	1.5
95 PD-VCT	95	475/0.50	1.7

Application : For mobile-electrical equipment used in mines, factories, farm or household appliances. This cable is particularly suitable for use in chemical factories or in places where cables come in contact with oils.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

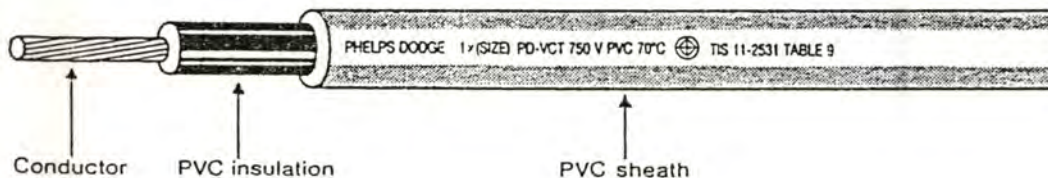
ตารางที่ 77 (ต่อ)

แสดงตารางที่ 9 ของ มอก.11-2531 (1-VCT)

สายอ่อน 1 แกน , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 750 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Sheath Thickness (mm)	Outer Diameter of Cable (Max.) (mm)	Min. Insulation Resistance at 70°C (Mohm.km)
0.5 PD-VCT	1.0	5.4	0.016 0
0.75 PD-VCT	1.0	5.6	0.014 0
1 PD-VCT	1.2	6.2	0.012 7
1.5 PD-VCT	1.2	6.6	0.011 1
2.5 PD-VCT	1.2	7.4	0.009 2
4 PD-VCT	1.4	8.6	0.008 4
6 PD-VCT	1.4	9.4	0.007 1
10 PD-VCT	1.8	12.0	0.006 8
16 PD-VCT	1.8	13.5	0.005 0
25 PD-VCT	2.2	16.0	0.004 8
35 PD-VCT	2.2	17.5	0.004 1
50 PD-VCT	2.6	21.0	0.004 0
70 PD-VCT	2.6	23.0	0.003 4
95 PD-VCT	3.0	26.5	0.003 4

Application : For mobile-electrical equipment used in mines, factories, farm or household appliances. This cable is particularly suitable for use in chemical factories or in places where cables come in contact with oils.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 77 (ต่อ)

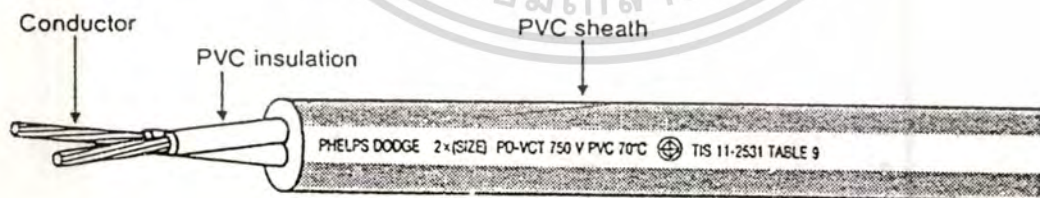
แสดงตารางที่ 9 ของ มอก.11-2531 (2-VCT)

สายอ่อน 2 แกน , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 750 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Cross Sectional Area (mm ²)	No./Wire Size (mm)	Insulation Thickness (mm)
2×0.5 PD-VCT	0.5	16/0.20	0.8
2×0.75 PD-VCT	0.75	24/0.20	0.8
2×1 PD-VCT	1	32/0.20	0.8
2×1.5 PD-VCT	1.5	30/0.25	0.8
2×2.5 PD-VCT	2.5	50/0.25	0.8
2×4 PD-VCT	4	56/0.30	0.9
2×6 PD-VCT	6	84/0.30	0.9
2×10 PD-VCT	10	80/0.40	1.1
2×16 PD-VCT	16	126/0.40	1.1
2×25 PD-VCT	25	196/0.40	1.3
2×35 PD-VCT	35	276/0.40	1.3

Application : For mobile-electrical equipment used in mines, factories, farm or household appliances.

This cable is particularly suitable for use in chemical factories or in places where cables come in contact with oils.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 77 (ต่อ)

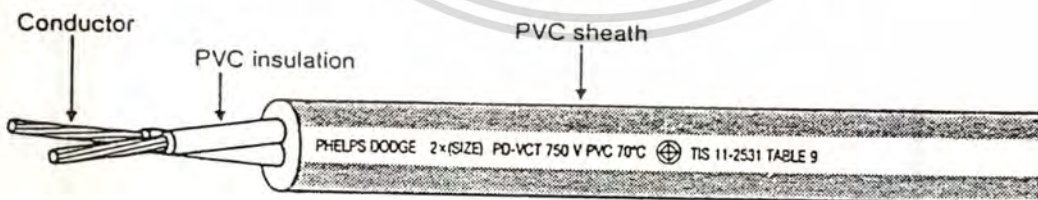
แสดงตารางที่ 9 ของ มอก.11-2531 (2-VCT)

สายอ่อน 2 แกน , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตั้วนำทองแดง , 750 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Sheath Thickness (mm)	Outer Diameter of Cable (Max.) (mm)	Min. Insulation Resistance at 70°C (Mohm.km)
2×0.5 PD-VCT	1.2	9.20	0.016 0
2×0.75 PD-VCT	1.2	9.65	0.014 0
2×1 PD-VCT	1.2	10.05	0.012 7
2×1.5 PD-VCT	1.4	11.55	0.011 1
2×2.5 PD-VCT	1.4	13.10	0.009 2
2×4 PD-VCT	1.6	15.20	0.008 4
2×6 PD-VCT	1.6	16.80	0.007 1
2×10 PD-VCT	1.8	21.00	0.006 8
2×16 PD-VCT	2.2	24.15	0.005 0
2×25 PD-VCT	2.4	28.85	0.004 8
2×35 PD-VCT	2.6	32.55	0.004 1

Application : For mobile-electrical equipment used in mines, factories, farm or household appliances.

This cable is particularly suitable for use in chemical factories or in places where cables come in contact with oils.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 77 (ต่อ)

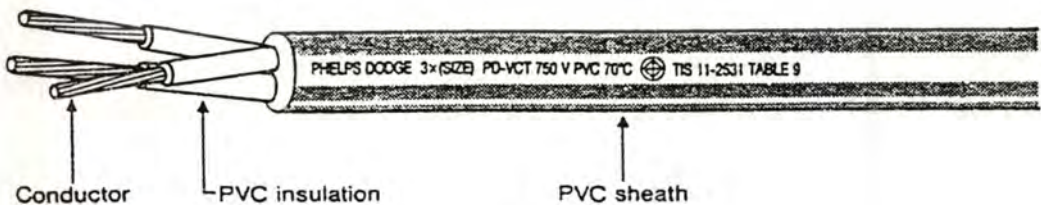
แสดงตารางที่ 9 ของ มอก.11-2531 (3-VCT)

สายอ่อน 3 แกน , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 750 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Cross Sectional Area (mm ²)	No./Wire Size (mm)	Insulation Thickness (mm)
3×0.5 PD-VCT	0.5	16/0.20	0.8
3×0.75 PD-VCT	0.75	24/0.20	0.8
3×1 PD-VCT	1	32/0.20	0.8
3×1.5 PD-VCT	1.5	30/0.25	0.8
3×2.5 PD-VCT	2.5	50/0.25	0.8
3×4 PD-VCT	4	56/0.30	0.9
3×6 PD-VCT	6	84/0.30	0.9
3×10 PD-VCT	10	80/0.40	1.1
3×16 PD-VCT	16	126/0.40	1.1
3×25 PD-VCT	25	196/0.40	1.3
3×35 PD-VCT	35	276/0.40	1.3

Application : For mobile-electrical equipment used in mines, factories, farm or household appliances.

This cable is particularly suitable for use in chemical factories or in places where cables come in contact with oils.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 77 (ต่อ)

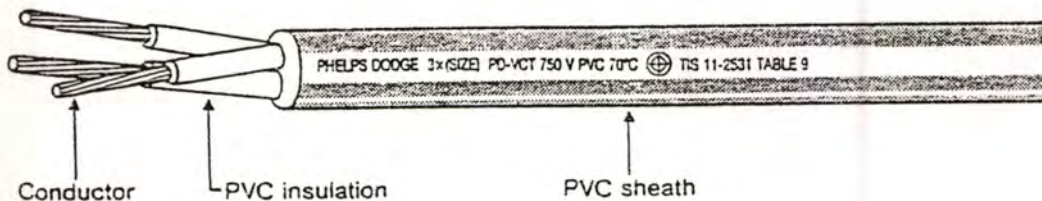
แสดงตารางที่ 9 ของ มอก.11-2531 (3-VCT)

สายอ่อน 3 แกน , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 750 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Sheath Thickness (mm)	Outer Diameter of Cable (Max.) (mm)	Min. Insulation Resistance at 70°C (Mohm.km)
3×0.5 PD-VCT	1.2	9.65	0.016 0
3×0.75 PD-VCT	1.2	10.05	0.014 0
3×1 PD-VCT	1.4	11.00	0.012 7
3×1.5 PD-VCT	1.4	12.05	0.011 1
3×2.5 PD-VCT	1.4	13.65	0.009 2
3×4 PD-VCT	1.6	16.25	0.008 4
3×6 PD-VCT	1.8	18.35	0.007 1
3×10 PD-VCT	2.0	22.55	0.006 8
3×16 PD-VCT	2.4	26.25	0.005 0
3×25 PD-VCT	2.6	31.50	0.004 8
3×35 PD-VCT	2.8	35.15	0.004 1

Application : For mobile-electrical equipment used in mines, factories, farm or household appliances.

This cable is particularly suitable for use in chemical factories or in places where cables come in contact with oils.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 77 (ต่อ)

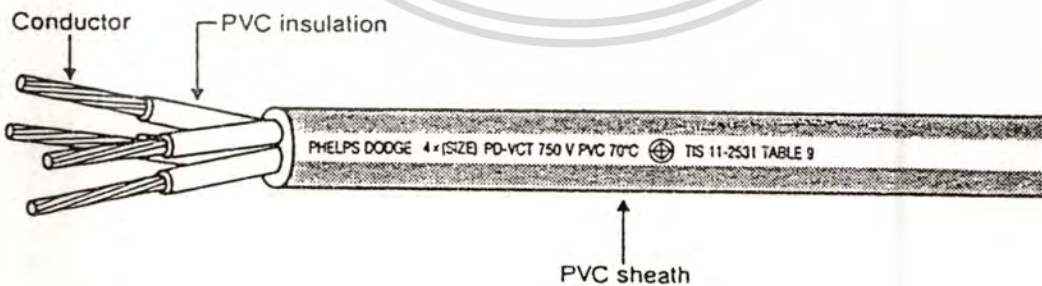
แสดงตารางที่ 9 ของ มอก.11-2531 (4-VCT)

สายอ่อน 4 แกน , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 750 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Cross Sectional Area (mm ²)	No./Wire Size (mm)	Insulation Thickness (mm)
4×0.5 PD-VCT	0.5	16/0.20	0.8
4×0.75 PD-VCT	0.75	24/0.20	0.8
4×1 PD-VCT	1	32/0.20	0.8
4×1.5 PD-VCT	1.5	30/0.25	0.8
4×2.5 PD-VCT	2.5	50/0.25	0.8
4×4 PD-VCT	4	56/0.30	0.9
4×6 PD-VCT	6	84/0.30	0.9
4×10 PD-VCT	10	80/0.40	1.1
4×16 PD-VCT	16	126/0.40	1.1
4×25 PD-VCT	25	196/0.40	1.3
4×35 PD-VCT	35	276/0.40	1.3

Application : For mobile-electrical equipment used in mines, factories, farm or household appliances.

This cable is particularly suitable for use in chemical factories or in places where cables come in contact with oils.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 77 (ต่อ)

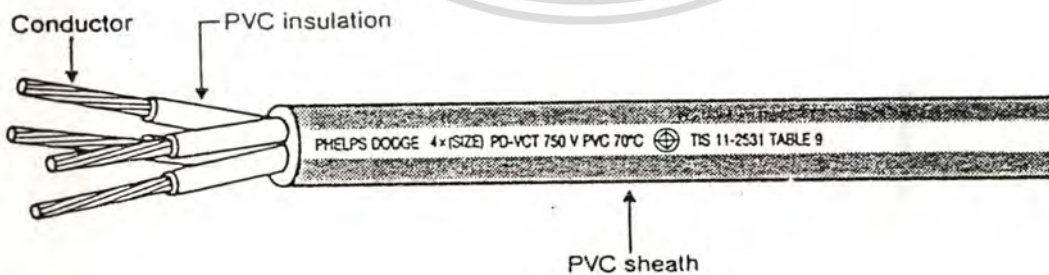
แสดงตารางที่ 9 ของ มอก.11-2531 (4-VCT)

สายอ่อน 4 แกน , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 750 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Sheath Thickness (mm)	Outer Diameter of Cable (Max.) (mm)	Min. Insulation Resistance at 70°C (Mohm.km)
4×0.5 PD-VCT	1.4	11.00	0.016 0
4×0.75 PD-VCT	1.4	11.55	0.014 0
4×1 PD-VCT	1.6	12.60	0.012 7
4×1.5 PD-VCT	1.6	13.10	0.011 1
4×2.5 PD-VCT	1.6	15.75	0.009 2
4×4 PD-VCT	1.8	17.85	0.008 4
4×6 PD-VCT	2.0	20.45	0.007 1
4×10 PD-VCT	2.2	25.20	0.006 8
4×16 PD-VCT	2.6	29.40	0.005 0
4×25 PD-VCT	2.8	34.65	0.004 8
4×35 PD-VCT	3.1	38.85	0.004 1

Application : For mobile-electrical equipment used in mines, factories, farm or household appliances.

This cable is particularly suitable for use in chemical factories or in places where cables come in contact with oils.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 78

แสดงตารางที่ 10 ของ มอก.11-2531 (2-VTF)

สายอ่อนตีเกลียว 2 แกน , ฉนวน PVC , ตัวนำทองแดง , 300 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Cross Sectional Area (mm ²)	No./Wire Size (mm)	Insulation Thickness (mm)	Outer Diameter of Cable (1 Core) (Max.) (mm)	Min. Insulation Resistance at 70°C (Mohm.km)
2×0.5 PD-VTF	0.5	16/0.20	0.8	3.2	0.016 0
2×0.5 PD-VTF	0.5	28/0.15	0.8	3.2	0.016 0
2×0.75 PD-VTF	0.75	24/0.20	0.8	3.4	0.014 0
2×0.75 PD-VTF	0.75	42/0.15	0.8	3.4	0.014 0
2×1 PD-VTF	1	32/0.20	0.8	3.6	0.012 7
2×1.5 PD-VTF	1.5	30/0.25	0.8	3.9	0.011 1
2×2.5 PD-VTF	2.5	50/0.25	0.8	4.8	0.009 2

Application : For used mainly for small indoor electrical appliances such as desk-lamp, radios, fans, electric hot plated etc.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

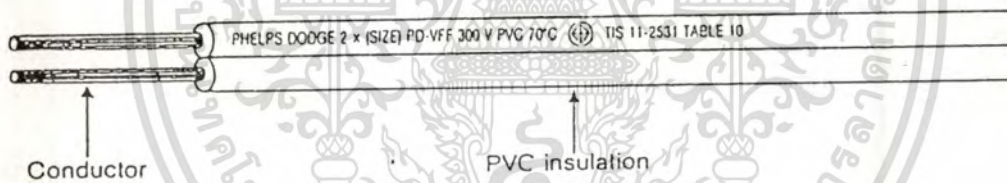
ตารางที่ 79

แสดงตารางที่ 10 ของ มอก.11-2531 (2-VFF)

สายอ่อน 2 แกนแบบ Flat , ฉนวน PVC , ตัวนำทองแดง , 300 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Cross Sectional Area (mm ²)	No./Wire Size (mm)	Insulation Thickness (mm)	Outer Diameter of Cable (mm)		Min. Insulation Resistance at 70°C (Mohm.km.)
				Min.	Max.	
2×0.5 PD-VFF	0.5	16/0.20	0.8	2.40×4.90	3.20×6.20	0.016 0
2×0.5 PD-VFF	0.5	28/0.15	0.8	2.40×4.80	3.20×6.20	0.016 0
2×0.75 PD-VFF	0.75	24/0.20	0.8	2.60×5.20	3.40×6.60	0.014 0
2×0.75 PD-VFF	0.75	42/0.15	0.8	2.60×5.20	3.40×6.60	0.014 0
2×1 PD-VFF	1	32/0.20	0.8	2.80×5.60	3.60×7.00	0.012 7
2×1.5 PD-VFF	1.5	30/0.25	0.8	3.00×6.00	3.90×7.60	0.011.1
2×2.5 PD-VFF	2.5	50/0.25	0.8	3.50×7.00	4.80×9.40	0.009 2

Application : For used in dryroom for small indoor electrical appliance
such as desk-lamp, radios, fans etc.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 80

แสดงตารางที่ 11 ของ มอก.11-2531 (2-VAF-G)

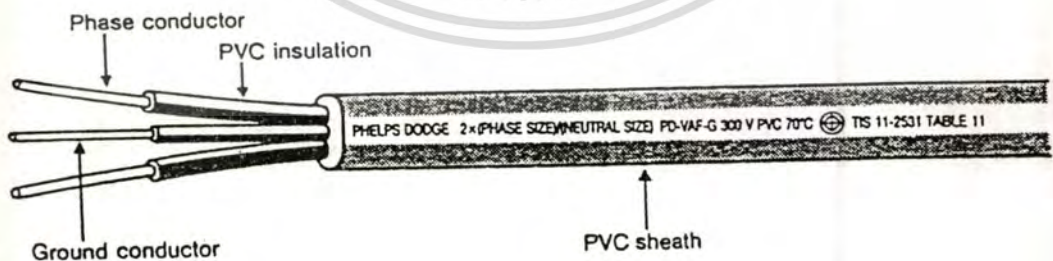
สาย 2 แกนแบบ Flat มีสายดิน , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 300 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Cross Sectional Area (mm ²)		No./Wire Size (mm)		Insulation Thickness (mm)	
	Conductor	Ground	Conductor	Ground	Conductor	Ground
2×1/1 PD-VAF-G	1	1	1/1.13	1/1.13	0.6	0.6
2×1/1 PD-VAF-G	1	1	7/0.40	7/0.40	0.6	0.6
2×1.5/1 PD-VAF-G	1.5	1	1/1.38	1/1.13	0.6	0.6
2×1.5/1 PD-VAF-G	1.5	1	7/0.50	7/0.40	0.6	0.6
2×2.5/1.5 PD-VAF-G	2.5	1.5	1/1.78	1/1.38	0.7	0.6
2×2.5/1.5 PD-VAF-G	2.5	1.5	7/0.67	7/0.50	0.7	0.6
2×4/2.5 PD-VAF-G	4	2.5	1/2.25	1/1.78	0.8	0.6
2×4/2.5 PD-VAF-G	4	2.5	7/0.85	7/0.67	0.8	0.6
2×6/4 PD-VAF-G	6	4	7/1.04	7/0.85	0.8	0.6
2×10/4 PD-VAF-G	10	4	7/1.35	7/0.85	0.9	0.6
2×16/6 PD-VAF-G	16	6	7/1.70	7/1.04	1.0	0.6
2×25/6 PD-VAF-G	25	6	7/2.14	7/1.04	1.2	0.6
2×35/10 PD-VAF-G	35	10	19/1.53	7/1.35	1.2	0.6

Application : - Surfaced wiring

- Concealed wiring in wooden partition, or above ceiling

- Embedded in plaster



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

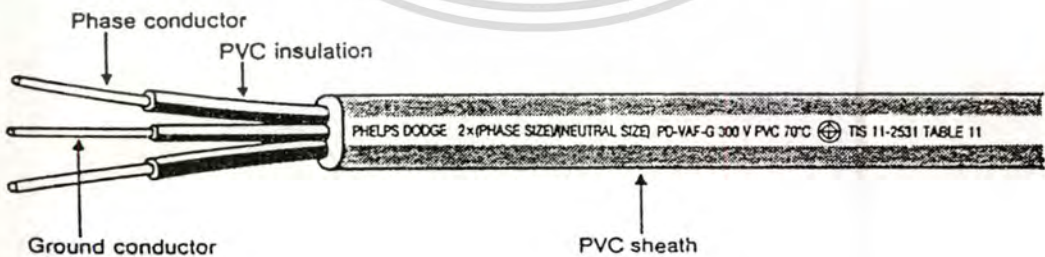
ตารางที่ 80 (ต่อ)

แสดงตารางที่ 10 ของ มอก.11-2531 (2-VAF-G)

สาย 2 แกนแบบ Flat มีสายดิน , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 300 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Sheath Thickness (mm)	Outer Diameter of cable (mm)		Min. Insulation Resistance at 70°C (Mohm.km)
		Min.	Max.	
2×1/1 PD-VAF-G	0.9	4.00×8.40	5.00×10.50	0.011 5.
2×1/1 PD-VAF-G	0.9	4.00×8.60	5.25×11.00	0.011 0
2×1.5/1 PD-VAF-G	1.2	4.80×9.40	6.05×12.05	0.010 0
2×1.5/1 PD-VAF-G	1.2	4.90×9.80	6.30×12.60	0.009 4
2×2.5/1.5 PD-VAF-G	1.2	5.40×10.50	6.70×13.65	0.009 2
2×2.5/1.5 PD-VAF-G	1.2	5.60×11.50	7.10×14.70	0.008 4
2×4/2.5 PD-VAF-G	1.2	6.00×12.50	7.55×15.75	0.008 8
2×4/2.5 PD-VAF-G	1.2	6.20×13.00	7.95×16.80	0.007 8
2×6/4 PD-VAF-G	1.2	6.80×15.00	8.60×18.35	0.006 6
2×10/4 PD-VAF-G	1.2	8.00×17.00	9.85×21.00	0.005 9
2×16/6 PD-VAF-G	1.2	9.20×20.00	11.55×24.15	0.005 3
2×25/6 PD-VAF-G	1.4	11.00×24.00	13.65×28.35	0.005 1
2×35/10 PD-VAF-G	1.4	12.00×27.00	15.20×32.55	0.004 3

Application : - Surfaced wiring
- Concealed wiring in wooden partition, or above ceiling.
- Embedded in plaster

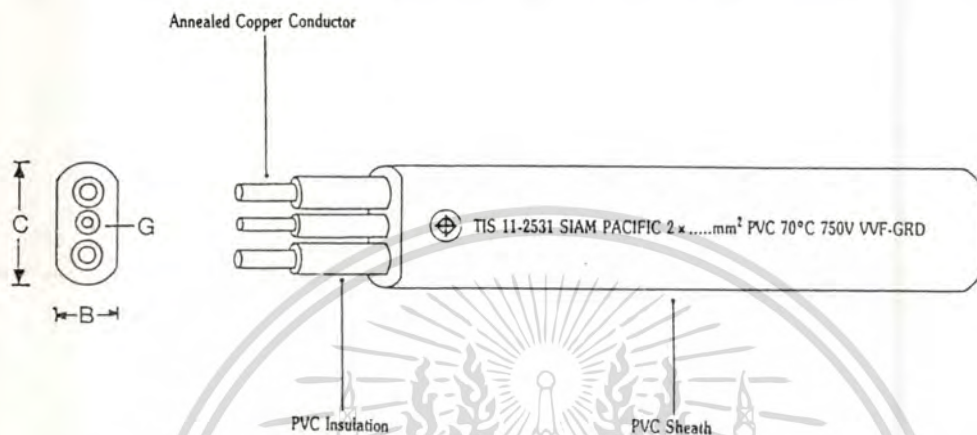


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 81

แสดงตารางที่ 13 ของ มอก.11-2531 (2-VVF-G)

สาย 2 แกนแบบ Flat มีสายดิน , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 750 V. 70°C



- Construction**
- Conductor : Solid or stranded annealed copper wire.
 - Insulation : Polyvinyl chloride.
 - Colour of cores : Light grey and black.
(ground wire — green with yellow strip)
 - Sheath : Black or white polyvinyl chloride.
- Application**
- For fixed installation in damp location or direct laying in plaster.

Nominal Area Of Conductor		Number/Nominal Wire Diameter In Conductor		Thickness Of Insulation		Thickness Of Sheath (mm)	Overall Cable Diameter (mm)		Minimum Insulation Resistance At 70°C (MΩ-km)	Ampacity Free In Air For 70°C (A)	Approx. Cable Weight (kg/km)	Standard Length (M)
(mm ²)		(No/mm)		(mm)			Lower Limit	Upper Limit				
Phase	Ground	Phase	Ground	Phase	Ground	(mm)	(B × C)	(B × C)				
2×1	1×1	1/1.13	1/1.13	0.8	0.6	1.4	5.2×10.0	6.4×12.0	0.0141	13	110	300/D
2×1	1×1	7/0.40	7/0.40	0.8	0.6	1.4	5.4×10.0	6.6×12.5	0.0135	13	110	300/D
2×1.5	1×1	1/1.38	1/1.13	0.8	0.6	1.4	5.6×10.5	6.6×12.5	0.0123	17	140	300/D
2×1.5	1×1	7/0.50	7/0.40	0.8	0.6	1.4	5.6×11.0	7.0×13.0	0.0116	17	140	300/D
2×2.5	1×1.5	1/1.78	1/1.38	0.8	0.6	1.4	5.8×11.5	7.2×14.0	0.0102	22	180	300/D
2×2.5	1×1.5	7/0.67	7/0.50	0.8	0.6	1.4	6.2×12.0	7.4×14.5	0.0093	22	180	300/D
2×4	1×2.5	1/2.25	1/1.78	0.9	0.6	1.4	6.6×13.0	7.8×15.5	0.0094	30	320	300/D
2×4	1×2.5	7/0.85	7/0.67	0.9	0.6	1.4	6.8×14.0	8.2×16.5	0.0085	30	320	300/D
2×6	1×4	7/1.04	7/0.85	0.9	0.6	1.4	7.4×15.5	8.8×18.5	0.0073	38	400	300/D
2×10	1×4	7/1.35	7/0.85	1.1	0.6	1.5	8.8×18.5	10.5×21.5	0.0069	53	520	300/D
2×16	1×6	7/1.70	7/1.04	1.1	0.6	1.5	9.8×21.0	11.5×24.5	0.0057	70	670	300/D
2×25	1×6	7/2.14	7/1.04	1.3	0.6	1.6	11.5×24.5	13.5×28.0	0.0054	93	900	300/D
2×35	1×10	19/1.53	7/1.35	1.3	0.6	1.7	13.0×28.0	15.0×32.0	0.0047	114	1200	300/D

C : Packing in Coil.

D : Packing in Drum.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

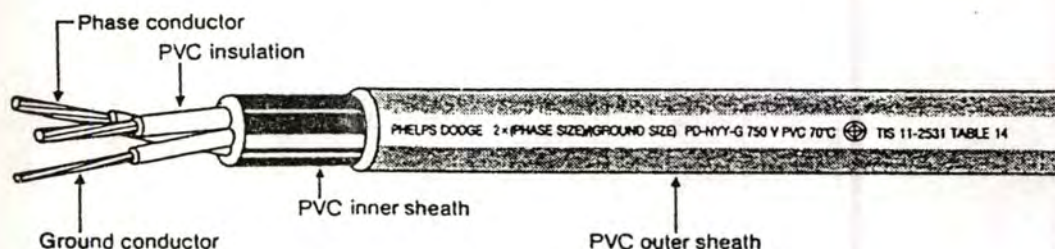
ตารางที่ 82

แสดงตารางที่ 14 ของ มอก.11-2531 (2-NYY-G)

สาย 2 แกน มีสายดิน , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 750 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Cross Sectional Area (mm ²)		No./Wire Size (mm)		Insulation Thickness (mm)	
	Conductor	Ground	Conductor	Ground	Conductor	Ground
2×1/1 PD-NYY-G	1	1	1/1.13	1/1.13	0.8	0.6
2×1/1 PD-NYY-G	1	1	7/0.40	7/0.40	0.8	0.6
2×1.5/1 PD-NYY-G	1.5	1	1/1.38	1/1.13	0.8	0.6
2×1.5/1 PD-NYY-G	1.5	1	7/0.50	7/0.40	0.8	0.6
2×2.5/1.5 PD-NYY-G	2.5	1.5	1/1.78	1/1.38	0.8	0.6
2×2.5/1.5 PD-NYY-G	2.5	1.5	7/0.67	7/0.50	0.8	0.6
2×4/2.5 PD-NYY-G	4	2.5	1/2.25	1/1.78	0.9	0.6
2×4/2.5 PD-NYY-G	4	2.5	7/0.85	7/0.67	0.9	0.6
2×6/4 PD-NYY-G	6	4	7/1.04	7/0.85	0.9	0.6
2×10/4 PD-NYY-G	10	4	7/1.35	7/0.85	1.1	0.6
2×16/6 PD-NYY-G	16	6	7/1.70	7/1.04	1.1	0.6
2×25/6 PD-NYY-G	25	6	7/2.14	7/1.04	1.3	0.6
2×35/10 PD-NYY-G	35	10	19/1.53	7/1.35	1.3	0.6
2×50/10 PD-NYY-G	50	10	19/1.78	7/1.35	1.5	0.6
2×70/10 PD-NYY-G	70	10	19/2.14	7/1.35	1.5	0.6
2×95/16 PD-NYY-G	95	16	19/2.52	7/1.70	1.7	0.6
2×120/16 PD-NYY-G	120	16	37/2.03	7/1.70	1.7	0.6
2×150/25 PD-NYY-G	150	25	37/2.25	7/2.14	1.9	0.6
2×185/25 PD-NYY-G	185	25	37/2.52	7/2.14	2.1	0.6
2×240/35 PD-NYY-G	240	35	61/2.25	19/1.53	2.3	0.6
2×300/35 PD-NYY-G	300	35	61/2.52	19/1.53	2.5	0.6

Application : For installation exposed, or in raceway, dry or wet location, or direct burying in ground.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

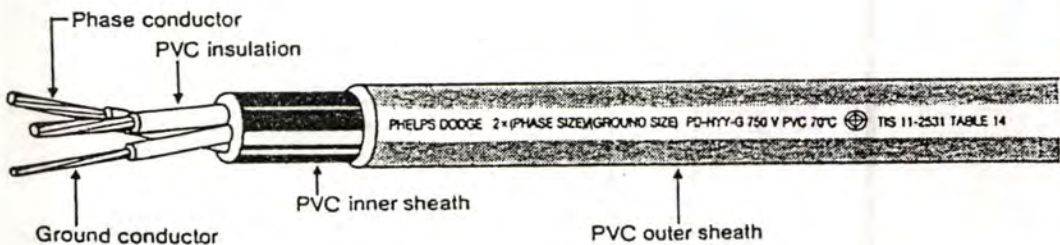
ตารางที่ 82 (ต่อ)

แสดงตารางที่ 14 ของ มอก.11-2531 (2-NYY-G)

สาย 2 แกน มีสายดิน , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 750 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Inner Sheath Thickness (mm)	Outer Sheath Thickness (mm)	Outer Diameter of cable (Max.) (mm)	Min. Insulation Resistance at 70°C (Mohm.km)
2×1/1 PD-NYY-G	0.8	1.8	13.10	0.014 1
2×1/1 PD-NYY-G	0.8	1.8	13.65	0.013 5
2×1.5/1 PD-NYY-G	0.8	1.8	13.65	0.012 3
1×1.5/1 PD-NYY-G	0.8	1.8	14.15	0.011 6
2×2.5/1.5 PD-NYY-G	0.8	1.8	14.70	0.010 2
2×2.5/1.5 PD-NYY-G	0.8	1.8	15.75	0.009 3
2×4/2.5 PD-NYY-G	0.8	1.8	16.25	0.009 4
2×4/2.5 PD-NYY-G	0.8	1.8	17.30	0.008 5
2×6/4 PD-NYY-G	0.8	1.8	18.90	0.007 3
2×10/4 PD-NYY-G	0.8	1.8	20.45	0.006 9
2×16/6 PD-NYY-G	1.2	2.0	23.60	0.005 7
2×25/6 PD-NYY-G	1.2	2.0	28.35	0.005 4
2×35/10 PD-NYY-G	1.2	2.0	30.95	0.004 7
2×50/10 PD-NYY-G	1.5	2.2	35.15	0.004 6
2×70/10 PD-NYY-G	1.5	2.2	39.90	0.003 9
2×95/16 PD-NYY-G	1.5	2.2	44.60	0.003 8
2×120/16 PD-NYY-G	1.8	2.4	48.80	0.003 4
2×150/25 PD-NYY-G	1.8	2.6	54.60	0.003 4
2×185/25 PD-NYY-G	2.0	2.8	59.85	0.003 4
2×240/35 PD-NYY-G	2.0	3.0	67.20	0.003 3
2×300/35 PD-NYY-G	2.2	3.2	74.00	0.003 2

Application : For installation exposed, or in raceway, dry or wet location, or direct burying in ground.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

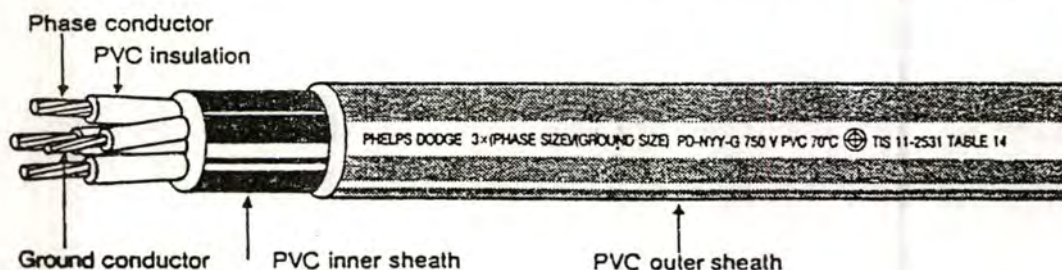
ตารางที่ 82 (ต่อ)

แสดงตารางที่ 14 ของ มอก.11-2531 (3-NYY-G)

สาย 3 แกน มีสายดิน , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 750 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Cross Sectional Area (mm ²)		No./Wire Size (mm)		Insulation Thickness (mm)	
	Conductor	Ground	Conductor	Ground	Conductor	Ground
3x1/1 PD-NYY-G	1	1	1/1.13	1/1.13	0.8	0.6
3x1/1 PD-NYY-G	1	1	7/0.40	7/0.40	0.8	0.6
3x1.5/1 PD-NYY-G	1.5	1	1/1.38	1/1.13	0.8	0.6
3x1.5/1 PD-NYY-G	1.5	1	7/0.50	7/0.40	0.8	0.6
3x2.5/1.5 PD-NYY-G	2.5	1.5	1/1.78	1/1.38	0.8	0.6
3x2.5/1.5 PD-NYY-G	2.5	1.5	7/0.67	7/0.50	0.8	0.6
3x4/2.5 PD-NYY-G	4	2.5	1/2.25	1/1.78	0.9	0.6
3x4/2.5 PD-NYY-G	4	2.5	7/0.85	7/0.67	0.9	0.6
3x6/4 PD-NYY-G	6	4	7/1.04	7/0.85	0.9	0.6
3x10/4 PD-NYY-G	10	4	7/1.35	7/0.85	1.1	0.6
3x16/6 PD-NYY-G	16	6	7/1.70	7/1.04	1.1	0.6
3x25/6 PD-NYY-G	25	6	7/2.14	7/1.04	1.3	0.6
3x35/10 PD-NYY-G	35	10	19/1.53	7/1.35	1.3	0.6
3x50/10 PD-NYY-G	50	10	19/1.78	7/1.35	1.5	0.6
3x70/10 PD-NYY-G	70	10	19/2.14	7/1.35	1.5	0.6
3x95/16 PD-NYY-G	95	16	19/2.52	7/1.70	1.7	0.6
3x120/16 PD-NYY-G	120	16	37/2.03	7/1.70	1.7	0.6
3x150/25 PD-NYY-G	150	25	37/2.25	7/2.14	1.9	0.6
3x185/25 PD-NYY-G	185	25	37/2.52	7/2.14	2.1	0.6
3x240/35 PD-NYY-G	240	35	61/2.25	19/1.53	2.3	0.6
3x300/35 PD-NYY-G	300	35	61/2.52	19/1.53	2.5	0.6

Application : For installation exposed, or in raceway, dry or wet location, or direct burying in ground.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

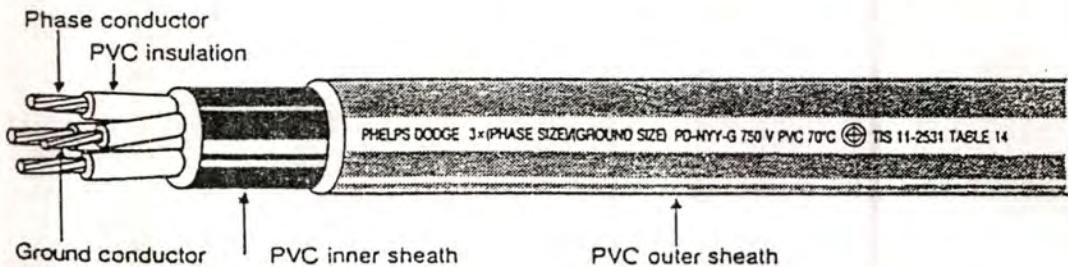
ตารางที่ 82 (ต่อ)

แสดงตารางที่ 14 ของ มอก.11-2531 (3-NYY-G)

สาย 3 แกน มีสายดิน , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 750 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Inner Sheath Thickness (mm)	Outer Sheath Thickness (mm)	Outer Diameter of cable (Max.) (mm)	Min. Insulation Resistance at 70°C (Mohm.km)
3×1/1 PD-NYY-G	0.8	1.8	14.15	0.014 1
3×1/1 PD-NYY-G	0.8	1.8	14.70	0.013 5
3×1.5/1 PD-NYY-G	0.8	1.8	14.70	0.012 3
3×1.5/1 PD-NYY-G	0.8	1.8	15.20	0.011 6
3×2.5/1.5 PD-NYY-G	0.8	1.8	15.75	0.010 2
3×2.5/1.5 PD-NYY-G	0.8	1.8	16.80	0.009 3
3×4/2.5 PD-NYY-G	0.8	1.8	17.85	0.009 4
3×4/2.5 PD-NYY-G	0.8	1.8	18.35	0.008 5
3×6/4 PD-NYY-G	0.8	1.8	19.95	0.007 3
3×10/4 PD-NYY-G	0.8	1.8	23.60	0.006 9
3×16/6 PD-NYY-G	1.2	2.0	27.80	0.005 7
3×25/6 PD-NYY-G	1.2	2.0	32.55	0.005 4
3×35/10 PD-NYY-G	1.2	2.0	35.70	0.004 7
3×50/10 PD-NYY-G	1.5	2.2	37.80	0.004 6
3×70/10 PD-NYY-G	1.5	2.2	42.50	0.003 9
3×95/16 PD-NYY-G	1.5	2.4	48.30	0.003 8
3×120/16 PD-NYY-G	1.8	2.6	53.00	0.003 4
3×150/25 PD-NYY-G	1.8	2.8	58.80	0.003 4
3×185/25 PD-NYY-G	2.0	3.0	64.55	0.003 4
3×240/35 PD-NYY-G	2.0	3.2	72.45	0.003 3
3×300/35 PD-NYY-G	2.2	3.4	79.80	0.003 2

Application : For installation exposed, or in raceway, dry or wet location, or direct burying in ground.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

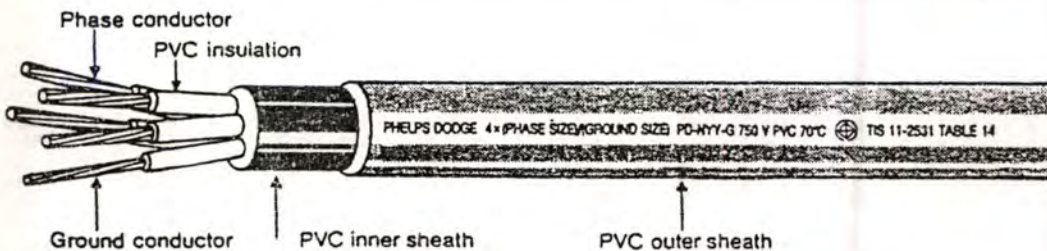
ตารางที่ 82 (ต่อ)

แสดงตารางที่ 14 ของ มอก.11-2531 (4-NYY-G)

สาย 4 แกน มีสายดิน , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 750 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Cross Sectional Area (mm ²)		No./Wire Size (mm)		Insulation Thickness (mm)	
	Conductor	Ground	Conductor	Ground	Conductor	Ground
4 × 1/1 PD-NYY-G	1	1	1/1.13	1/1.13	0.8	0.6
4 × 1/1 PD-NYY-G	1	1	7/0.40	7/0.40	0.8	0.6
4 × 1.5/1 PD-NYY-G	1.5	1	1/1.38	1/1.13	0.8	0.6
4 × 1.5/1 PD-NYY-G	1.5	1	7/0.50	7/0.40	0.8	0.6
4 × 2.5/1.5 PD-NYY-G	2.5	1.5	1/1.78	1/1.38	0.8	0.6
4 × 2.5/1.5 PD-NYY-G	2.5	1.5	7/0.67	7/0.50	0.8	0.6
4 × 4/2.5 PD-NYY-G	4	2.5	1/2.25	1/1.78	0.9	0.6
4 × 4/2.5 PD-NYY-G	4	2.5	7/0.85	7/0.67	0.9	0.6
4 × 6/4 PD-NYY-G	6	4	7/1.04	7/0.85	0.9	0.6
4 × 10/4 PD-NYY-G	10	4	7/1.35	7/0.85	1.1	0.6
4 × 16/6 PD-NYY-G	16	6	7/1.70	7/1.04	1.1	0.6
4 × 25/6 PD-NYY-G	25	6	7/2.14	7/1.04	1.3	0.6
4 × 35/10 PD-NYY-G	35	10	19/1.53	7/1.35	1.3	0.6
4 × 50/10 PD-NYY-G	50	10	19/1.78	7/1.35	1.5	0.6
4 × 70/10 PD-NYY-G	70	10	19/2.14	7/1.35	1.5	0.6
4 × 95/16 PD-NYY-G	95	16	19/2.52	7/1.70	1.7	0.6
4 × 120/16 PD-NYY-G	120	16	37/2.03	7/1.70	1.7	0.6
4 × 150/25 PD-NYY-G	150	25	37/2.25	7/2.14	1.9	0.6
4 × 185/25 PD-NYY-G	185	25	37/2.52	7/2.14	2.1	0.6
4 × 240/35 PD-NYY-G	240	35	61/2.25	19/1.53	2.3	0.6
4 × 300/35 PD-NYY-G	300	35	61/2.52	19/1.53	2.5	0.6

Application : For installation exposed, or in raceway, dry or wet location, or direct burying in ground.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 82 (ต่อ)

แสดงตารางที่ 14 ของ มอก.11-2531 (4-NYY-G)

สาย 4 แกน มีสายดิน , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 750 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Inner Sheath Thickness (mm)	Outer Sheath Thickness (mm)	Outer Diameter of cable (Max.) (mm)	Min. Insulation Resistance at 70°C (Mohm.km)
4×1/1 PD-NYY-G	0.8	1.8	14.70	0.014 1
4×1/1 PD-NYY-G	0.8	1.8	15.20	0.013 5
4×1.5/1 PD-NYY-G	0.8	1.8	15.75	0.012 3
1×1.5/1 PD-NYY-G	0.8	1.8	16.25	0.011 6
4×2.5/1.5 PD-NYY-G	0.8	1.8	16.80	0.010 2
4×2.5/1.5 PD-NYY-G	0.8	1.8	17.85	0.009 3
4×4/2.5 PD-NYY-G	0.8	1.8	18.90	0.009 4
4×4/2.5 PD-NYY-G	0.8	1.8	19.95	0.008 5
4×6/4 PD-NYY-G	0.8	1.8	21.50	0.007 3
4×10/4 PD-NYY-G	0.8	2.0	26.25	0.006 9
4×16/6 PD-NYY-G	1.2	2.0	29.90	0.005 7
4×25/6 PD-NYY-G	1.2	2.0	35.15	0.005 4
4×35/10 PD-NYY-G	1.5	2.2	40.40	0.004 7
4×50/10 PD-NYY-G	1.5	2.2	45.15	0.004 6
4×70/10 PD-NYY-G	1.5	2.4	46.70	0.003 9
4×95/16 PD-NYY-G	1.8	2.6	54.05	0.003 8
4×120/16 PD-NYY-G	1.8	2.8	58.80	0.003 4
4×150/25 PD-NYY-G	2.0	3.0	65.10	0.003 4
4×185/25 PD-NYY-G	2.0	3.2	71.40	0.003 4
4×240/35 PD-NYY-G	2.2	3.4	80.30	0.003 4
4×300/35 PD-NYY-G	2.2	3.8	88.70	0.003 2

Application : For installation exposed, or in raceway, dry or wet location, or direct burying in ground.

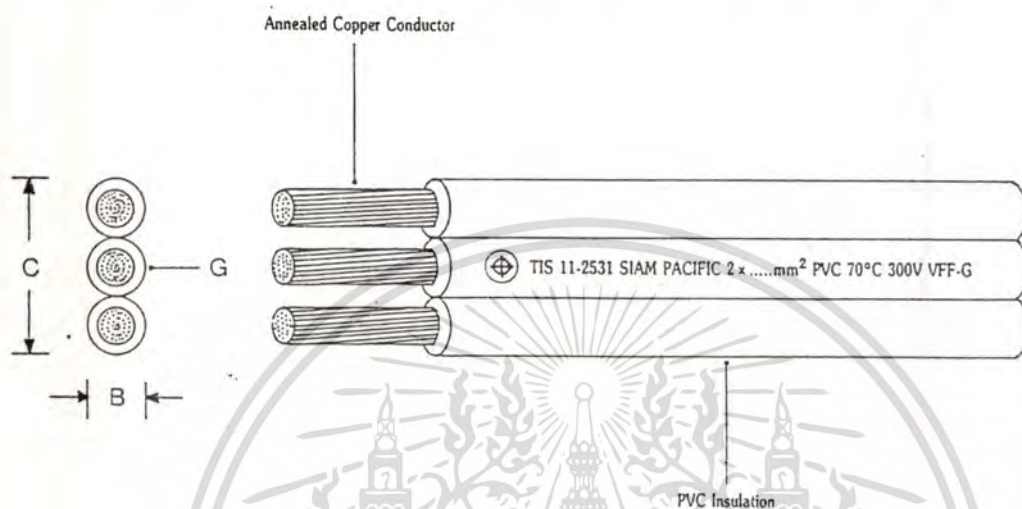


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 83

แสดงตารางที่ 16 ของ มอก.11-2531 (2-VFF-G)

สาย 2 แกน มีสายดิน , ฉนวน PVC , ตัวนำทองแดง , 300 V. 70°C



Construction

Conductor : Bunch stranded annealed copper wire.
 Insulation : Polyvinyl chloride.
 Colour of core : Light grey and black. (any colour as requested)
 (ground wire – green with yellow strip)

Application

For small indoor electrical appliance cord.

Nominal Area Of Conductor		Number/Nominal Wire Diameter In Conductor		Thickness Of Insulation		Overall Cable Diameter In mm		Minimum Insulation Resistance At 70°C	Ampacity In Free Air For 70°C	Approx. Cable Weight	Standard Length
Phase	Ground	Phase	Ground	Phase	Ground	Lower Limit	Upper Limit				
(mm ²)	(mm ²)	(No/mm)	(No/mm)	(mm)	(mm)	(B × C)	(B × C)	(MΩ-km)	(A)	(kg/km)	(M)
1	1	32/0.20	32/0.20	0.8	0.6	2.8 × 8.0	3.6 × 9.8	0.0127	12	50	100/C
1.5	1	30/0.25	32/0.20	0.8	0.6	3.0 × 8.6	3.9 × 10.5	0.0111	15	60	100/C
2.5	1.5	50/0.25	30/0.25	0.8	0.6	3.5 × 9.6	4.8 × 12.5	0.0092	20	90	100/C

C : Packing in Coil.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

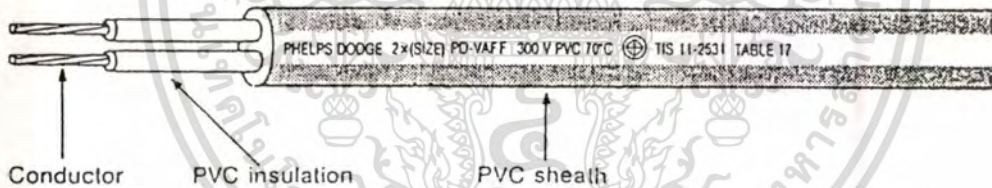
ตารางที่ 84

แสดงตารางที่ 17 ของ มอก.11-2531 (2-VAFF-F)

สาย 2 แกนชนิดอ่อน , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 300 V. 70°C

PHELPS DODGE TYPE LETTER	Cross Sectional Area (mm ²)	No./Wire Size (mm)	Insulation Thickness (mm)	Sheath Thickness (mm)	Outer Diameter of Cable (mm)		Min. Insulation Resistance at 70°C (Mohm.km)
					Min.	Max.	
2×0.5 PD-VAFF	0.5	16/0.20	0.6	0.9	3.80×5.80	4.90×7.55	0.013 2
2×0.5 PD-VAFF	0.5	28/0.15	0.6	0.9	3.80×5.80	4.90×7.55	0.013 3
2×1 PD-VAFF	1	32/0.20	0.6	0.9	4.10×6.60	5.45×8.40	0.010 4
2×1.5 PD-VAFF	1.5	30/0.25	0.6	1.2	5.00×7.60	6.50×9.85	0.009 0
2×2.5 PD-VAFF	2.5	50/0.25	0.7	1.2	5.60×9.00	7.55×12.05	0.008 3
2×4 PD-VAFF	4	56/0.30	0.8	1.2	6.40×10.00	8.40×13.65	0.007 6
2×6 PD-VAFF	6	84/0.30	0.8	1.2	6.80×11.50	9.20×15.20	0.006 5
2×10 PD-VAFF	10	80/0.40	0.9	1.2	8.00×13.50	11.00×18.35	0.005 7
2×16 PD-VAFF	16	126/0.40	1.0	1.2	9.80×17.50	12.60×21.50	0.004 7
2×25 PD-VAFF	25	196/0.40	1.2	1.4	12.00×21.50	15.20×26.25	0.004 5
2×35 PD-VAFF	35	276/0.40	1.2	1.4	13.50×24.00	16.80×29.40	0.003 8

Application : For surface or above ceiling wiring or direct
embedded in plaster.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

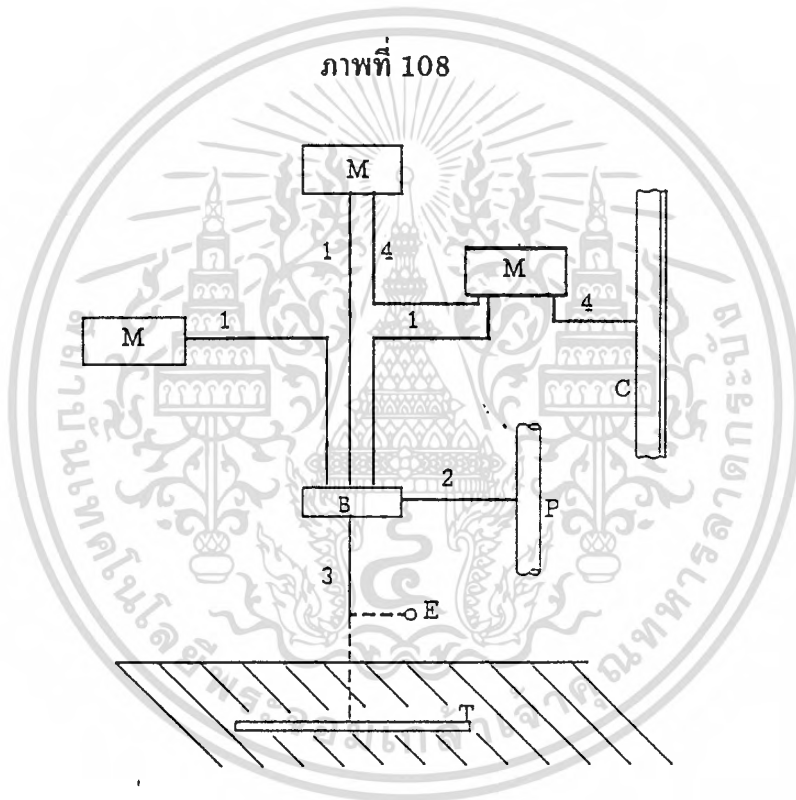
การต่อลงดิน

การต่อลงดินตามมาตรฐาน IEC

มาตรฐานการติดตั้งระบบไฟฟ้าในอาคาร IEC 364 'Electrical Installation of Buildings' ได้กำหนดให้มีการต่อลงดินของสถานประกอบการ ใน IEC 364-5-54 'Earthing Arrangements and Protective Conductors'

ในมาตรฐานการต่อลงดินของ IEC เรียกการต่อลงดินว่า 'Earthing'

ส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบการต่อลงดินตาม IEC แสดงไว้ในภาพที่ 108



แสดงส่วนประกอบของระบบการต่อลงดินตามมาตรฐาน IEC

1,2,3,	= Protective conductors	B	= Main earthing terminal
1	= Circuit protective conductor	M	= Exposed conductive part
2	= Main equipotential bonding conductor	C	= Extrinsic conductive part
3	= Earthing conductor	P	= Main metallic water pipe
4	= Supplementary equipotential bonding conductors (where required)	T	= Earth electrode (TT and IT systems)
		E	= Other means of earthing (TN-systems)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของระบบการต่อลงดิน (Type of Earthing System)

ระบบไฟฟ้าของสถานประกอบการอาจแบ่งตามวิธีการต่อลงดินได้ เพื่อให้เข้าใจ การเรียกชื่อระบบการต่อลงดินได้ถูกต้อง และมีระบบ จึงกำหนดวิธีเรียกระบบไฟฟ้าตามวิธีการต่อลงดิน วิธีเรียกชื่อนี้ กำหนดด้วยตัวอักษร 3 หรือ 4 ตัว ดังนี้คือ

อักษรตัวแรก บอกถึงการจัดการต่อลงดินของแหล่งจ่ายไฟฟ้า

“T” แสดงว่าจุดหนึ่งมากกว่าของแหล่งจ่ายไฟฟ้าต่อลงดินโดยตรง

“I” แสดงว่าแหล่งจ่ายไฟไม่ได้ต่อลงดิน หรือต่อลงดินผ่านอิมพีแดนซ์จำกัด

กระแส

อักษรตัวที่ 2 บอกถึงการต่อลงดินของสถานประกอบการ

“T” แสดงว่าส่วนที่เป็นโลหะเปลือยทั้งหมดต่อลงดินโดยตรง

“N” แสดงว่าส่วนที่เป็นโลหะเปลือยทั้งหมดต่อเข้ากับสายดิน

อักษรตัวที่ 3 และ 4 แสดงการจัดการของสายดิน

“S” สายนิวทรัลและสายดินแยกจากกัน

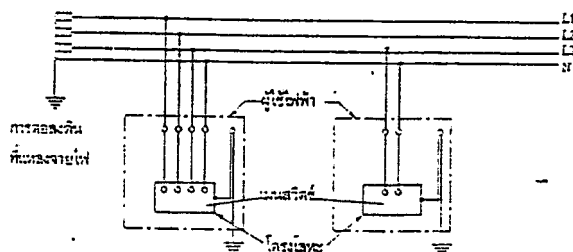
“C” สายนิวทรัล และสายดินรวมเป็นเส้นเดียวกัน

จากข้อกำหนดตัวอักษรดังกล่าว ระบบไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายระบบคือ

ระบบไฟฟ้า TT

ระบบนี้เป็นระบบมาตรฐานของสถานประกอบการ ซึ่งได้รับไฟฟ้าจากสายเหนือดิน สายดินและสายศูนย์แยกจากกันทางการไฟฟ้าไม่ได้จัดขั้วสายดินให้ สถานประกอบการต้องทำหลักดินเอง ดังนั้นการต่อถึงกันระหว่างระบบสายดินของการไฟฟ้า และสถานประกอบการจึงไม่ค่อยมีประสิทธิภาพ เนื่องจากความต้านทานดินมีค่าสูง

ภาพที่ 109



แสดงระบบไฟฟ้าแบบ TT

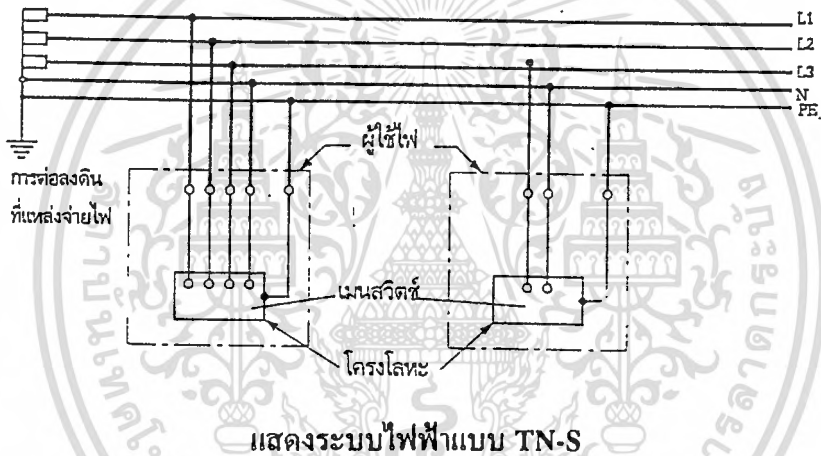
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบไฟฟ้า TN-S

สถานประกอบการส่วนมากที่ได้รับไฟฟ้าจากระบบสายไฟฟ้าได้ดินจะใช้ระบบนี้ ขั้วดินของสถานประกอบการจะต่อเข้ากับระบบสายดินของการไฟฟ้า ซึ่งเป็นเปลือกหุ้มโลหะ หรือเกราะของสายเคเบิล ทำให้มีส่วนโลหะที่ต่อเนื่องกลับไปจุดสตาร์ทของหม้อแปลงได้ และที่จุดสตาร์ทนี้จะต้องต่อลงดินผ่านสายต่อหลักดินเข้ากับแท่งหลักดิน

สถานประกอบการที่ได้รับไฟฟ้าแรงดันสูงจากการไฟฟ้า ที่ต้องจัดหาและติดตั้งหม้อแปลงเอง สามารถทำระบบไฟฟ้าด้านแรงต่ำเป็นระบบ TN-S ได้ดังภาพที่ 110

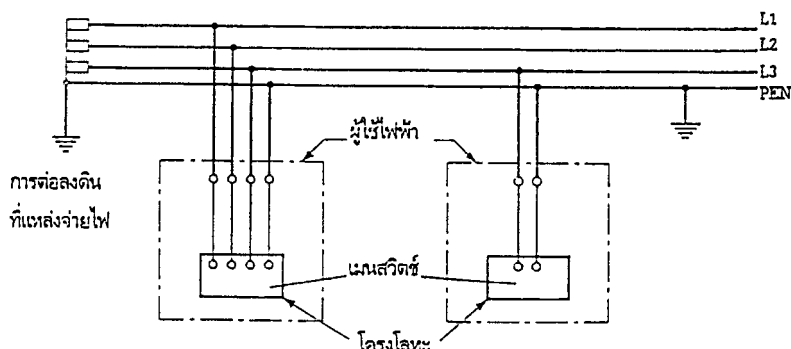
ภาพที่ 110



ระบบไฟฟ้า TN-C

ในระบบ TN-C สายศูนย์ และสายดินรวมเป็นสายเดียวกันตลอด และเป็นสาย PEN ด้วย ส่วนโลหะทั้งหมดของสถานประกอบการจะต่อเข้ากับสาย PEN ดังภาพที่ 111

ภาพที่ 111

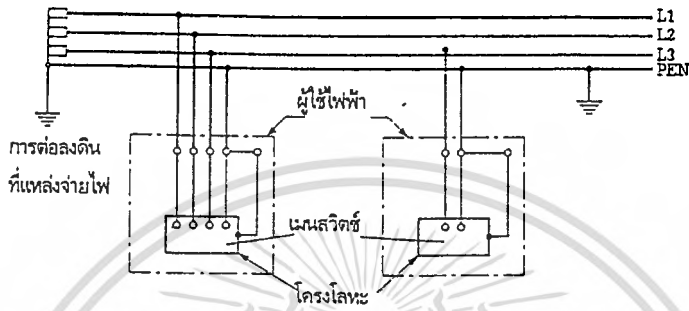


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบไฟฟ้า TN-C-S

ในระบบนี้แหล่งจ่ายไฟฟ้าเป็นระบบ TN-C ส่วนสถานประกอบการเป็นระบบ TN-S ดังภาพที่ 112

ภาพที่ 112

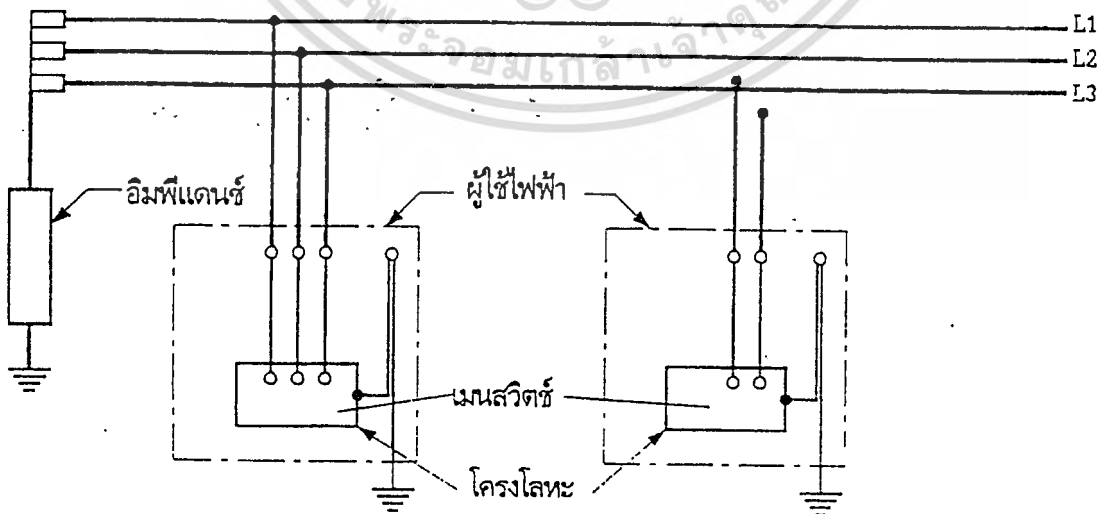


แสดงระบบไฟฟ้า TN-C-S

ระบบไฟฟ้า IT

ในระบบนี้ จุดนิวทรัลของแหล่งจ่ายไฟฟ้าไม่ได้ต่อลงดิน หรือต่อลงดินผ่านค่าอิมพีแดนซ์ ส่วนโลหะทั้งหมดต่อลงดินดังภาพที่ 113

ภาพที่ 113



แสดงระบบไฟฟ้า IT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักดิน (Earth Electrode)

สิ่งต่อไปนี้สามารถใช้เป็นหลักดินได้

- ท่อหลักดิน หรือแท่งหลักดิน (Earth Pipes or Rods)
- เทปหลักดิน หรือสายหลักดิน (Earth Tapes or Wires)
- แผ่นหลักดิน (Earth Plates)
- ระบบฐานรากของอาคาร (Earth Electrode embedded in Foundation)
- เหล็กเสริมในคอนกรีต (Metallic Reinforcement of Concrete)
- ระบบท่อโลหะ (Metallic Pipe Systems)
- โลหะหุ้มสายเคเบิล (Metallic Sheaths or Covering of Cable)
- โครงสร้างใต้ดินที่เหมาะสมอื่น ๆ

สายดิน (Earthing Conductor)

สายดินคือ สายที่ต่อเข้ากับหลักดิน การหาขนาดสายดินเมื่อฝังใต้ดิน ต้องมีพื้นที่หน้าตัดตามตาราง 87 (Table 54A ของ IEC)

ตารางที่ 85

แสดงขนาดต่ำสุดของสายดินเมื่อฝังใต้ดิน

	มีการป้องกันทางกล	ไม่มีการป้องกันทางกล
มีการป้องกันการกัดกร่อน	เลือกตามขนาดสาย PE	16 sq.mm. copper 16 sq.mm. coated steel
ไม่มีการป้องกัน	25 sq.mm. copper	25 sq.mm. copper
การกัดกร่อน	50 sq.mm. steel	50 sq.mm. steel

ขั้วดินหลัก (Main Earthing Terminals or Bars)

ในสถานประกอบการทุกแห่งจะต้องจัดให้มีขั้วดินหลัก(Main Earthing Terminals or Bars) เพื่อ

- ให้สายต่อไปนี้ต่อเข้า
- สายดิน (Earthing Conductors)
- สายดินป้องกัน (Protective Conductors, PE)

เอกสารนี้เป็นเอกสาร Main Equipotential Bonding Conductors นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Functional Earthing Conductors

และต้องจัดให้สามารถถอดสาย Earthing Conductors ออกได้เพื่อให้สามารถวัดความต้านทานของดินได้

สายดินป้องกัน (Protective Conductors, PE)

ขนาดสาย PE อาจหาได้ 2 วิธี คือ

- วิธีคำนวณ
- ตามตาราง

โดยวิธีคำนวณ

พื้นที่หน้าตัดของสาย PE คำนวณได้จากสูตร

$$S = I \sqrt{t} / k$$

โดยที่

S คือ พื้นที่หน้าตัดของสาย PE (sq.mm.)

I คือ กระแสลัดวงจรเมื่อไม่เกิดอิมพีแดนซ์ของสาย (A)

t คือ เวลาที่อุปกรณ์ป้องกันใช้ในการตัดต่อวงจร (s)

k คือ ค่าคงที่ขึ้นกับชนิดของวัสดุตัวนำ PE, ฉนวน, อุณหภูมิเริ่มต้น และอุณหภูมิสุดท้าย

ค่า k ที่ใช้งานต่าง ๆ ให้อ่านในตาราง 86(c)

ตาราง 86(a) สำหรับ Protective Conductors ที่ไม่อยู่ในสายเคเบิล หรือไม่เดินร่วมกับสายเคเบิล

ตาราง 86(b) สำหรับ Protective Conductors ที่อยู่ในสายเคเบิล หรือเดินร่วมกับสายเคเบิล

ตาราง 86(c) สำหรับ Protective Conductors ที่เป็นเปลือกหุ้มโลหะของสายเคเบิล

ตาราง 86(d) สำหรับ Protective Conductors ที่เป็นสายเปลือย

ตารางที่ 86

แสดงค่าคงที่ k สำหรับวัสดุตัวนำ-ฉนวน อุดหุ้มเริ่มต้น-และอุดหุ้มสุดท้ายค่าต่าง ๆ

— Values of k for protective conductors

(a) Insulated conductors not incorporated in cables or bare conductors in contact with outside of cable covering

Material and conductor	Material of insulation or cable covering		
	PVC	85 °C rubber	90 °C thermoset
Copper	143	166	176
Aluminium	95	110	116
Steel	52	60	64
Assumed initial temperature (°C)	30	30	30
Final temperature (°C)	160	220	250

(b) Conductor as a core in the cable

Material of conductor	Insulation material		
	PVC	85 °C rubber	90 °C thermoset
Copper	115	134	143
Aluminium	76	89	94
Assumed initial temperature (°C)	70	85	90
Final temperature (°C)	160	220	250

(c) Conductor as a sheath or armour of a cable

Material of conductor	Insulation material		
	PVC	85 °C rubber	90 °C thermoset
Steel	44	51	54
Aluminium	81	93	98
Lead	22	26	27
Assumed initial temperature (°C)	60	75	80
Final temperature (°C)	160	220	250

(d) Bare conductors where there is no risk of damage to any neighbouring material by the temperatures indicated (assumed initial temperature 30 °C)

Material of conductor	Conditions ^a		
	Visible and in restricted areas ^b	Normal	Fire risk
Copper	228 (500 °C)	159 (200 °C)	138 (150 °C)
Aluminium	125 (300 °C)	105 (200 °C)	91 (150 °C)
Steel	82 (500 °C)	58 (200 °C)	50 (150 °C)

^a The figures in parentheses are the limiting final temperatures

^b The temperatures indicated are valid only where they do not impair the quality of connections

ตัวอย่างที่ 7.12 จงหาขนาดสาย PE ที่เป็นสายตัวนำทองแดง หุ้มด้วยฉนวน PVC เดินไปพร้อมสายเฟส

กระแสลัดวงจรต้นทาง	10 kA
เวลาที่ MCCB ทำงาน	50 ms
k จากตารางที่ 86	115

วิธีทำ

$$S = I\sqrt{t} / k$$

$$= \frac{10 \times 1000 \times \sqrt{50 \times 10^{-3}}}{115}$$

$$= 19.5$$

เพราะฉะนั้นใช้สายไม่เล็กกว่า 25 sq.mm.

การใช้ตาราง

ขนาดพื้นที่หน้าตัดของสาย PE อาจหาได้จากตาราง 87 (Table 54F ของ IEC)

ตารางที่ 87

แสดงการหาขนาดสาย PE ตามขนาดสายเฟส

ขนาดสายเฟส S (sq.mm.)	ขนาดสาย PE (sq.mm.)
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	S/2

ชนิดของสาย PE

สาย PE อาจเป็นดังนี้

- ตัวนำในสายเคเบิล (Conductors in Multicore Cable)
- ตัวนำเปลือย หรือหุ้มฉนวน เดินในสิ่งห่อหุ้มร่วมกับสายเฟส
- ตัวนำเปลือย หรือหุ้มฉนวนที่ยึดติดอยู่กับที่
- สิ่งห่อหุ้ม เช่น Sheaths, Screens และ Amouring ของสายเคเบิล
- ท่อร้อยสายโลหะ หรือสิ่งห่อหุ้มโลหะของสายไฟอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงเงื่อนไขการเลือกตารางพิกัดกระแสของสายเคเบิล

Current Rating Table IEC 364 5-523	Insulating Material				Circuit type (phase)	Conducting Material		Installation Method			Conductor type VS Installation Method			Conductor Size Provided by Standard mm ²	Conductor Arrangement		Correction Factor										
	PVC 70 C	EPR/XLPE 90 C	MINERAL-PVC 70 C	EXPOSED MINERAL 70 C		Copper	Aluminum	A	B	C	D	E	F		G	Insulated Conductor	Multicore Cable	Single Core Cable	Trapez	Flat Formation	Ambient Temperature		Group Reduction				
																					S2-D1 (Method A-C) and E-G	S2-D2 (Method D)	S2-E1 (Method A-C)	S2-E2 (Method D)	S2-E3 (Method D)	S2-E4 (Method E)	S2-E5 (Method F)
52-C1	X	X			All									A,B	A-D	A-D				Column A-C	Column D	Column D	Column D	Column 1-2	Column 1-2	Column 3-5	
52-C2					All									A,B	A-D	A-D				Column A-C	Column D	Column D	Column D	Column 1-2	Column 1-2	Column 3-5	
52-C3	X	X			All									A,B	A-D	A-D				Column A-C	Column D	Column D	Column D	Column 1-2	Column 1-2	Column 3-5	
52-C4	X	X			All									A,B	A-D	A-D				Column A-C	Column D	Column D	Column D	Column 1-2	Column 1-2	Column 3-5	
52-C5	X	X			1									Nil	C	C				Column A-C	Column D	Column D	Column D	Column 1-2	Column 1-2	Column 3-5	
52-C6	X	X			1									Nil	C	C				Column A-C	Column D	Column D	Column D	Column 1-2	Column 1-2	Column 3-5	
52-C7	X	X			1									Nil	E	F				Column A-C	Column D	Column D	Column D	Column 1-2	Column 1-2	Column 3-5	
52-C8	X	X			1									Nil	E	F	Gv/Gn			Column A-C	Column D	Column D	Column D	Column 1-2	Column 1-2	Column 3-5	
52-C9	X	X			1									Nil	E	F	Gv/Gn			Column A-C	Column D	Column D	Column D	Column 1-2	Column 1-2	Column 3-5	
52-C10	X	X			1									Nil	E	F	Gv/Gn			Column A-C	Column D	Column D	Column D	Column 1-2	Column 1-2	Column 3-5	
52-C11	X	X			1									Nil	E	F	Gv/Gn			Column A-C	Column D	Column D	Column D	Column 1-2	Column 1-2	Column 3-5	
52-C12	X	X			1									Nil	E	F	Gv/Gn			Column A-C	Column D	Column D	Column D	Column 1-2	Column 1-2	Column 3-5	

NOTE
 1. Except installation type B have only 12U mm²
 2. Cable size 1-4 mm² rate voltage 500V and cable size 1-24U mm² rate voltage 750V
 3. Multicore cable column 1and2 , cable range 1.5-200 mm² and Single core cable column 3-7 . cable range 25-630 mm²
 4. All table relate to IEC 364-5-523

จดหมายแจ้งผลการใช้โปรแกรมจากบริษัท ผู้ออกแบบงานระบบไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ 5 กรกฎาคม 2539

เรื่อง การทดลองใช้โปรแกรม COP สำหรับออกแบบเลือกใช้สายเคเบิลในระบบไฟฟ้ากำลัง

เรียน ผศ. ศิริวัฒน์ โพรวิเวชกุล

ว่าที่เรืออากาศตรี นพพร ลิขปริชานนท์

ตามที่ ว่าที่เรืออากาศตรี นพพร ลิขปริชานนท์ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ได้นำ software สำหรับใช้ในการออกแบบและเลือกสายเคเบิลแรงต่ำ เพื่อให้วิศวกรผู้ออกแบบของบริษัท เอ็นจิเนียริง ซิสเต็ม คอนซัลแตนต์ จำกัด (ESCON) ซึ่งเป็นบริษัทที่ได้ทำหน้าที่เป็นผู้ออกแบบ ควบคุมงาน และที่ปรึกษาจากระบบให้กับภาครัฐ และเอกชนมานาน ทดลองใช้ในการออกแบบกับงานจริง โดยทางบริษัทได้เลือกโครงการสำนักงานของการไฟฟ้านครหลวงเขตธนบุรี มาเป็นโครงการอ้างอิงในการออกแบบดังกล่าว จึงขอเรียนผลการทดสอบ โปรแกรมให้ทราบดังนี้

1. โปรแกรม COP สามารถคำนวณหาขนาดของสายเคเบิลได้อย่างถูกต้อง สะดวกรวดเร็ว เพียงตอบคำถามที่จำเป็นให้กับโปรแกรม สามารถพิมพ์ข้อมูลแยกวงจร และสรุปข้อมูลได้เป็นอย่างดี สะดวกแก่การจัดเก็บ ค้นหา และ แก้ไข ได้ในภายในหน้า

2. ตรวจสอบแล้วพบว่า โปรแกรม COP ได้ใช้มาตรฐานอ้างอิงที่เชื่อถือได้ โดยได้รับการยอมรับจากการไฟฟ้านครหลวง ([5.17] กฎการเดินสายและติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้า พ.ศ.2538) ตามมาตรฐาน IEC No. 287 และ IEC No. 364-5-523 ทำให้เกิดความมั่นใจในการใช้งานว่าสามารถใช้โปรแกรมในการเลือกสายเคเบิลได้อย่างปลอดภัย

3. โปรแกรม COP สามารถใช้เป็นแหล่งข้อมูลอ้างอิงเกี่ยวกับการคำนวณ และตรวจสอบในการเลือกใช้สายเคเบิลได้ สำหรับกรณีที่ผู้ออกแบบเป็นผู้กำหนดขนาดสายเคเบิลเอง เพื่อให้สามารถหาจุดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดก่อน หลังจากนั้นสามารถป้อนตัวเลขสำหรับเผื่อค่าปัจจัย (FACTOR) อื่น ๆ ที่ผู้ออกแบบสามารถกำหนดเองได้

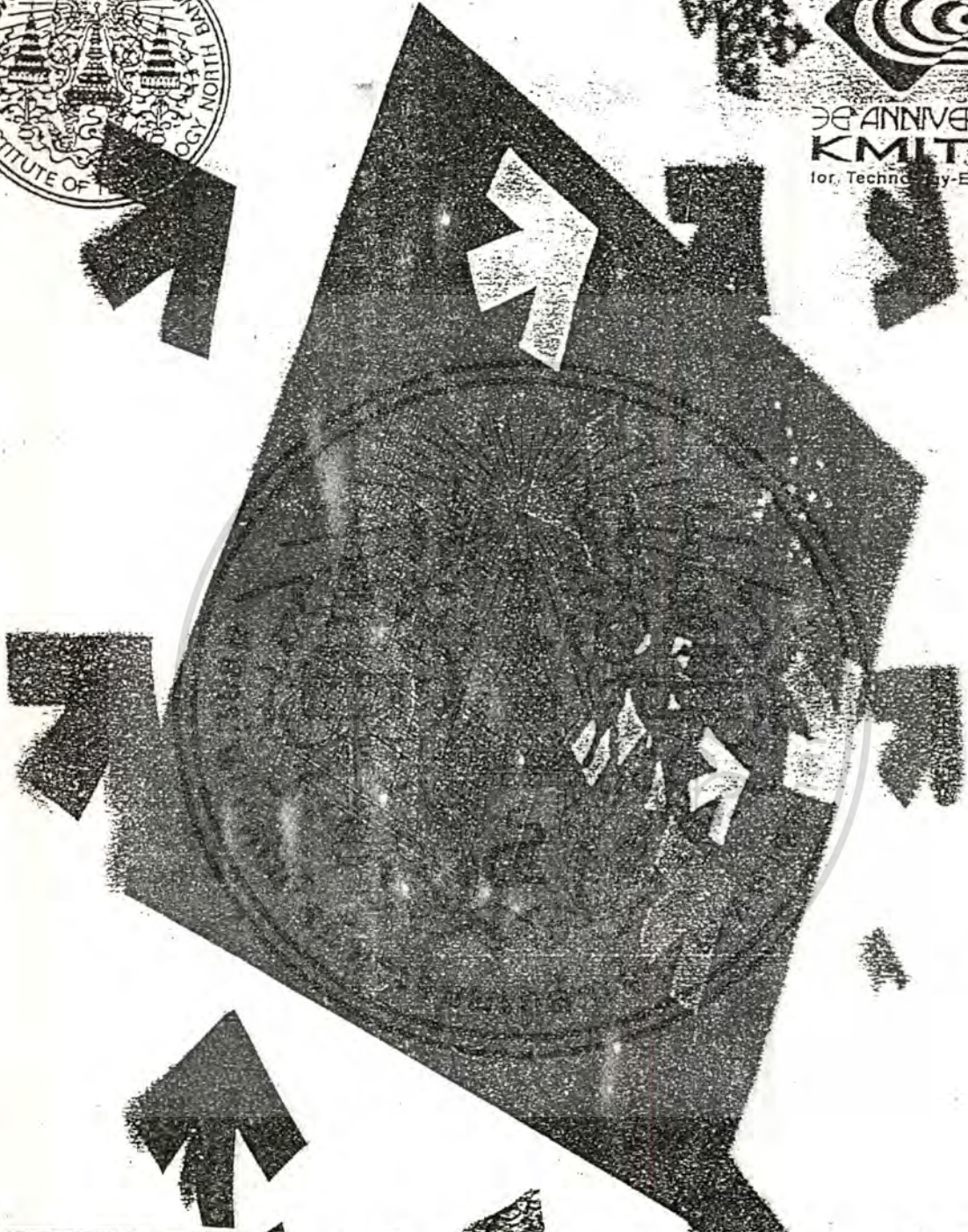


ผลงานวิจัยที่ได้รับ
การตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



36th ANNIVERSARY
KMITNB
for Technology-Excellence



การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า

ครั้งที่ ๑๓ - ๑๕ ธันวาคม ๒๕๓๗

ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 17

The 17th Conference of Electrical Engineering



ณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าในสายเคเบิล

Current Carrying Capacity Analysis in Cables

นพพร ลิขนิพานนท์*

ศิริวัฒน์ โพธิ์เทพกุล**

* นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

** อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

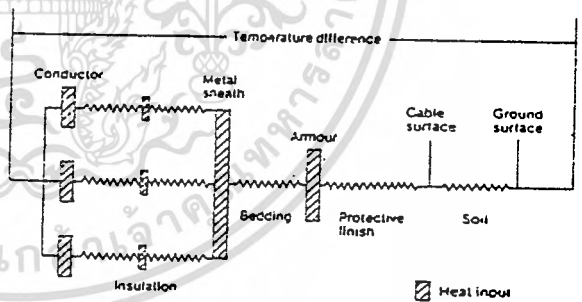
บทคัดย่อ - เพื่อให้ได้มาซึ่งความประหยัดที่สุดของต้นทุนอย่างแรกในการเลือกใช้สายเคเบิล ลักษณะที่สำคัญก็คือ การเลือกขนาดของตัวนำที่อยู่ในสภาวะที่คี่ที่สุด มีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องของสายเคเบิล เป็นปัจจัยแรกที่ควรพิจารณา ส่วนปัจจัยอื่น ๆ อย่างเช่น แรงดันตกคร่อม หรือ โวลเตจครอป, การสูญเสียพลังงาน, ความสามารถในการรับกระแสตัดวงจร ปัจจัยเหล่านี้เราไม่อาจจะละทิ้งได้ ผลจากการวิเคราะห์นี้ จะทำให้สามารถค้นหาวิธีที่สะดวกที่สุดในการออกแบบคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าของสายเคเบิลที่มีลักษณะเฉพาะ โดยสามารถรับกระแสได้อย่างต่อเนื่องภายใต้มาตรฐานที่กำหนด ทั้งนี้ต้องพิจารณาจากโครงสร้างของสายเคเบิล เงื่อนไขของสภาวะแวดล้อม และวิธีการติดตั้งด้วย

ABSTRACT - To achieve maximum economy in first cost and subsequent operation of cables, an important aspect is the selection of the optimum size of conductor. Several factors are involved in this and whilst the continuous current carrying capacity is paramount, other factors such as voltage drop, cost of losses and ability to carry short circuit currents must not be neglected. For reasons which are discussed later, the most convenient way to establish a rating for a particular cable design is to calculate an amperage which can be carried continuously under prescribed standard condition. Appropriate factors may then be applied to cater for the cable construction, environment conditions and actual installation conditions.

1. บทนำ -

สายเคเบิลที่มีอยู่ในปัจจุบันนั้นถูกออกแบบโดยกำหนดหน้าที่การใช้งานแตกต่างกันออกไปตามสภาพความเป็นจริง เช่น สายเคเบิลที่ใช้ในอาคารทั่ว ๆ ไป เป็นสายที่มีเพียงตัวนำ และฉนวนหุ้มที่เป็น PVC เช่น สายชนิด TW, THW, NYY ซึ่งสายเคเบิลเหล่านี้ต้องติดตั้งในท่อ Conduit , เพื่อป้องกันผลกระทบทางกล , สายเคเบิลที่สามารถฝังดินได้โดยตรงจะต้องมีเกราะป้องกันสายหรือ Armour , สายที่ใช้กับโรงกลั่นน้ำมันจะต้องมีเปลือกสายโลหะที่เป็นตะกั่ว และ Zero Halogen Low Smoke and Fume (LSP) หรือสายเคเบิลที่สามารถอยู่ได้ในกองเพลิง (Fire Survival Cable) จะต้องมียกฉนวนเป็นแร่และเปลือกสายที่เป็นโลหะ เป็นชั้น แต่สิ่งที่เป็นหัวใจหลักและสำคัญที่สุดที่ต้องคำนึงถึงเป็นอย่างแรกก็คือความสามารถในการรับกระแสของสายเคเบิล ซึ่งต้องขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและเงื่อนไขตัวแปรมากมายเช่น สภาวะแวดล้อม, วิธีการและสถานที่ติดตั้ง, โครงสร้างของสายเคเบิล ความร้อนที่เกิดจากเคเบิลข้างเคียง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง องค์ประกอบของอุณหภูมิซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละสถานที่ ดังนั้นในส่วนของนักวิชาการ (ไม่ใช่ผู้ใช้งาน) ควรที่จะสามารถวิเคราะห์ได้ว่าจะต้องใช้สายเคเบิลที่มีขนาดตัวนำเท่าไร มีโครงสร้างเป็นอย่างไร มีองค์ประกอบและเงื่อนไขตัวแปรอะไรบ้างที่มีผลกระทบต่อความสามารถในการนำกระแสของสายเคเบิล เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดภายใต้เงื่อนไขของราคา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โครงการใหญ่ ๆ ก็มีส่วนของต้นทุน ที่เป็นสายเคเบิลอยู่มาก อาจทำให้สามารถลดต้นทุนได้มาก โดยอาจกำหนดให้เป็นมาตรฐาน ในการตรวจสอบแต่ละโครงการและให้นักวิชาการเป็นผู้รับรองผลการวิเคราะห์สำหรับแต่ละโครงการนั้น ๆ ดัง

นั้นจึงได้ทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นมาในโครงการวิจัยนี้เพื่อที่จะสามารถกำหนดปรับเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และอยู่ในเงื่อนไขที่เป็นจริงตามสภาพแวดล้อมของบ้านเรา.



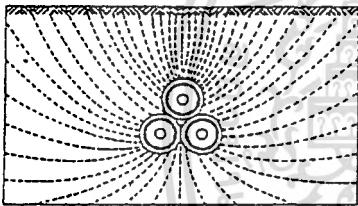
รูปที่ 1 ลักษณะของการคำนวณความร้อนของสายเคเบิลประเภท 3 ตัวนำ

2. ทฤษฎี และหลักการ

ในขณะที่จ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านสายเคเบิล ความสูญเสียทางไฟฟ้าจะปรากฏอยู่ในรูปของความร้อนในตัวนำ, ฉนวนและส่วนประกอบที่เป็นโลหะที่กักกระแสจะขึ้นอยู่กับเส้นทางที่ความร้อนถูกส่งผ่าน ไปตามผิวของส่วนต่าง ๆ ของสายเคเบิล และจะกระจายไปรอบ ๆ อุณหภูมิตัวนำ เหล่านี้เองที่เป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดค่าความสามารถในการรับกระแสของสายเคเบิลได้ภายใต้เงื่อนไขของทั้งที่คงที่ไม่แปรตามเวลา (Steady State)

ผลต่างระหว่างอุณหภูมิที่ตัวนำ และอุณหภูมิที่อยู่บริเวณรอบ ๆ (Ambient temperature) จะสัมพันธ์กับผลรวมของความร้อนที่สูญเสีย และกฎของการไหลของความร้อนก็จะคล้ายกับกฎของโอห์ม โดยที่การไหลของความร้อน (Heat Flow) จะสอดคล้องกับการไหลของกระแสไฟฟ้า, ผลต่างของอุณหภูมิ จะสอดคล้องกับความต่างศักย์ไฟฟ้า (Voltage) และความต้านทานของความร้อน (Thermal Resistance) จะสอดคล้องกับความต้านทานไฟฟ้า และจากหลักการดังกล่าวทำให้ Heat losses ถูกมองเป็น Ohmic losses และอุปมาให้มีโครงสร้างเป็นวงจรตรงแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งจากรูปจะเห็นว่าความร้อนเข้าไปได้หลายตำแหน่งตามรัศมีต่างๆของความต้านทานความร้อน โดยที่หน่วยของความต้านทานความร้อนจะเป็นผลต่างของอุณหภูมิเป็นเคลวินไหลผ่านไปยังด้านตรงข้ามของพื้นที่ผิวในระยะเวลา 1 วัตต์ความร้อนดังนั้นจะให้เป็นหน่วยเป็น K m/w

การถ่ายเทความร้อนของสายเคเบิลมีผลต่อความสามารถในการนำกระแสอย่างมาก เพราะถ้ายิ่งสามารถถ่ายเทความร้อนออกสู่ภายนอกได้ดีเท่าไร ก็ยังสามารถรับกระแสได้ดีด้วยเช่นกัน ซึ่งการถ่ายเทความร้อนจะดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการเช่น วัสดุที่ใช้ทำฉนวน วิธีการติดตั้ง และภาวะจากสายเคเบิลที่อยู่ข้างเคียง เป็นต้น ซึ่งรูปที่ 2 จะแสดงรูปแบบการถ่ายเทความร้อนของสายเคเบิลแกนเดี่ยว 3 เส้น ที่สามารถแสดงถึงความสำคัญของผลกระทบที่มีต่อเคเบิลข้างเคียงด้วย



รูปที่ 2 การถ่ายเทความร้อนของสายเคเบิลแกนเดี่ยวติดตั้งแบบ Trefoil

3. การปฏิบัติการทางคณิตศาสตร์

3.1 โมเดลทางคณิตศาสตร์

อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในสายเคเบิลเนื่องจากความร้อนที่เกิดจากตัวนำ (I^2R) ฉนวน(W) และเปลือกสายกับกระแสป้องกันสาย (Sheam and Armour) (λI^2R) คูณด้วยความต้านทานความร้อนของแต่ละชั้น ซึ่งเป็นทางไหลของความร้อน (T) ซึ่งจะได้อุณหภูมิใช้ในการคำนวณสำหรับสายเคเบิล ที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนี้

$$\Delta t = (I^2R + \frac{1}{2} W_d)T_1 + [I^2R(1 + \lambda_1) + W_d]nT_2 + [I^2R(1 + \lambda_1 + \lambda_2) + W_d]m(T_3 + T_4) \dots\dots\dots 1$$

เมื่อ Δt = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของตัวนำเหนืออุณหภูมิ Ambient (K)
 I = กระแสที่ไหลใน หนึ่งตัวนำ (A)
 R = ความต้านทานไฟฟ้ากระแสสลับต่อหน่วยความยาวของตัวนำ ณ จุดสูงสุดของอุณหภูมิขณะใช้งาน (Ω/m)
 W_d = ค่า Dielectric loss ต่อหน่วยความยาวของฉนวนรอบ ๆ ตัวนำ (w/m)

T_1 = ความต้านทานความร้อนต่อหน่วยความยาวระหว่างตัวนำและเปลือกสาย (K m/w)

T_2 = ความต้านทานความร้อนต่อหน่วยความยาวระหว่าง เปลือกสาย และ Armour (K m/w)

T_3 = ความต้านทานความร้อนต่อหน่วยความยาวของตัวรองรับสายเคเบิล ด้านนอก (K . m/w)

T_4 = ความต้านทานความร้อนต่อหน่วยความยาวระหว่างผิวของสายเคเบิล กับผิวดิน (K m/w)

n = จำนวนไหลที่รับกระแสจากตัวนำในสายเคเบิล (ตัวนำที่มีขนาดเท่ากันและรับโหลดเดียวกัน)

λ_1 = อัตราส่วนระหว่างค่า Loss ของ Metal Sheath กับ Loss ผลรวมของตัวนำทั้งหมดในสายเคเบิล

λ_2 = อัตราส่วนระหว่าง Loss ของ Armour กับ Loss ผลรวมของตัวนำทั้งหมดในสายเคเบิล

Note: อุณหภูมิ Ambient หมายถึง อุณหภูมิที่อยู่บริเวณรอบ ๆ ภายใต้อิทธิพลของลมพัด

จากสมการที่ 1 สามารถจัดรูปใหม่ได้ดังนี้

$$I = \left\{ \frac{\Delta t - W_d \left[\frac{1}{2} T_1 + n(T_2 + T_3 + T_4) \right]}{RT_1 + nR(1 + \lambda_1)T_2 + nR(1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4)} \right\}^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots 2$$

ในการใช้สูตรความสัมพันธ์ที่ 2 นี้ เป็นสูตรที่สามารถใช้ได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นแล้วข้างต้นเท่านั้น ไม่สามารถใช้กับแหล่งกำเนิดความร้อนที่มาจากที่อื่นใด ๆ อีก เช่น จากสายเคเบิลชนิดอื่นที่อยู่ข้างเคียง หรือแหล่งกำเนิดความร้อนจากแรงสั่นที่เกิดจากแรงสั่นสะเทือน โดยรายละเอียดจะอยู่ใน IEC 287 ในกรณีของสายเคเบิลชนิด 4 แกน ขนาด 1 KV ถ้าสายตัวนำที่ 4 ทำหน้าที่เป็นนิวทรัลหรือตัวนำป้องกัน ก็ยังสามารถกำหนดให้ค่า n เป็น 3 ได้

สำหรับสายเคเบิลที่นำไปใช้กับไฟฟ้ากระแสตรง (DC cables) ส่วนของ loss จะถูกคิดทั้ง สมการที่ (2) จะกลายเป็น

$$I = \left[\frac{\Delta t}{R \cdot T_1 + nR \cdot T_2 + nR \cdot (T_3 + T_4)} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (3)$$

เมื่อ R = ค่าความต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง ต่อหน่วยความยาวของตัวนำ ณ จุดทำงานที่อุณหภูมิสูงสุด (Ω/m)

3.2 โคอีฟิเชียนต์ของใน AC cables

ค่าโคอีฟิเชียนต์ในแต่ละเฟสคือ

$$W_d = \sigma C U^2 \tan \delta \quad (W/m) \dots\dots\dots (4)$$

เมื่อ $\sigma = 2.3 \times 10^{-14}$; f คือ ความถี่ (Hz);

S = วินาที

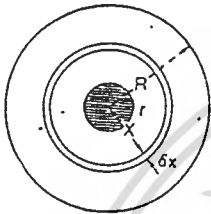
C = ค่าความจุไฟฟ้า (F/m)

ค่าของ $\tan \delta$ หาได้จากตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าพหุคูณคิวดี้ สัมพัทธ์ และค่าออสเทรคเคอร์

Type of cable	Permittivity	tan δ
Solid type paper insulated	4	0.01
Oil-filled paper, low/medium pressure	3.3	0.004
Oil-filled paper, high pressure	3.5	0.0045
Oil pressure pipe type/paper	3.7	0.0045
External gas pressure/paper	3.5	0.004
Internal gas pressure/paper	3.4	0.0045
Butyl rubber	4	0.05
EPR	3	0.04
PVC	3	0.1
PE	2.3	0.001
XLPE	2.5	0.004

ค่าความจุไฟฟ้าของสายเคเบิลชนิดตัวนำกลม (P/m) สามารถหาได้จากสูตรข้างล่าง (อาจใช้กับตัวนำรีได้)



รูปที่ 3 รูปภาคตัดขวางของสายเคเบิลชนิดตัวนำกลมเดี่ยวสำหรับหาหาความจุไฟฟ้า

เมื่อให้รัศมีของตัวนำ (cm) รัศมีของเปลือกสายด้านใน R(cm) โดยสมมติให้ตัวนำมีประจุ q (Coulomb/m) อยู่ ทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าขึ้นจากรัศมีของตัวนำ โดยให้ความหนาแน่นของเปลือกที่รัศมี x(cm) จากจุดศูนย์กลางของตัวนำคือ

$$D_r = \frac{q}{2\pi x} \quad (\text{colomb / m}^2) \quad \dots\dots\dots (5)$$

ความเข้มสนามไฟฟ้าที่รัศมี x คือ

$$E_r = \frac{D_r}{\epsilon_0 \epsilon_r} \quad (V/m) \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$= \frac{q}{2\pi x \epsilon_0 \epsilon_r}$$

เมื่อ ϵ_0 = เอมิตติวิตีของสูญญากาศ $\frac{10^{-9}}{36\pi}$

ϵ_r = เอมิตติวิตีสัมพัทธ์ของฉนวน

งานที่เกิดจากการเคลื่อนประจุบวกหนึ่งหน่วยในระยะ dx ผ่านสนาม

ไฟฟ้าเกิดจาก

$$\frac{dW}{q \cdot dc} = -E \cdot dx \quad \dots\dots\dots (7)$$

เมื่อเปลี่ยนรูปให้อยู่ในรูปศักย์ไฟฟ้าจะได้เป็น

$$dV = -E \cdot dx \quad \dots\dots\dots (8)$$

ดังนั้นจะได้อินเทนส์เตอประจุหนึ่งหน่วยจากผิวตัวนำไปยังผิวด้าน

นอกของฉนวนคือ

$$V = \int_R^r -E \cdot dx \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$= \frac{q}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \int_R^r \frac{dx}{x}$$

$$\frac{q}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \log_e \left(\frac{R}{r} \right) \quad (V) \quad \dots\dots\dots (10)$$

โดยที่ค่าความจุไฟฟ้าของสายเคเบิลต่อหนึ่งหน่วยความยาวคือ

$$C = \frac{q}{V} \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$= \frac{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r}{\log_e \left(\frac{R}{r} \right)} \quad (F/m)$$

$$= \frac{2\pi \epsilon_r \times 10^{-9}}{36\pi \log_e \left(\frac{R}{r} \right)} \quad (F/m)$$

หรือ

$$C = \frac{\epsilon_r}{18 \log_e \left(\frac{D_1}{D_2} \right)} \times 10^{-9} \quad (F/m) \quad \dots\dots\dots (12)$$

เมื่อ D_1 = เส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกของฉนวน ไม่รวม สกรีน (mm)

D_2 = เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำรวมสกรีน (mm)

ϵ_r = เอมิตติวิตีสัมพัทธ์ของฉนวน (จากตารางที่ 1)

3.3 LOSS จากค่าความต้านทานของตัวนำ

3.3.1 ความต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง (D.C Resistance) (Ω/2km) ที่อุณหภูมิ t คือ

$$R_{dt} = R_{20} [1 + \alpha_{20}(t - 20)] \quad \dots\dots\dots (13)$$

เมื่อ R_{dc} = ความต้านทานของตัวนำที่ t °C

R_{20} = ความต้านทานของตัวนำที่ 20 °C

α_{20} = สัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิของตัวนำ (สำหรับทองแดงคือ 0.00393 และสำหรับอลูมิเนียมคือ 0.00403)

t = อุณหภูมิของตัวนำ °C

$$\text{และ } R_{20} = \rho \frac{l}{A}$$

เมื่อ ρ = ค่าความต้านทานของสารที่ 20 °C

l = ความยาวของตัวนำ (m)

A = พื้นที่หน้าตัด (mm²)

ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลกระทบบต่อค่าความต้านทาน DC

- (ก) ค่าความต้านทานของสาร
- (ข) ค่าความบริสุทธิ์
- (ค) การออกแบบตัวนำ และพื้นที่หน้าตัดของตัวนำ
- (ง) อุณหภูมิ
- (จ) ความยาวของตัวนำ

3.3.2 ความต้านทานไฟฟ้ากระแสสลับ (A.C Resistance) ที่อุณหภูมิ t คือ

$$R_{act} = R_{dc}(1 + Y_s + Y_p) \quad \dots\dots\dots (14)$$

เมื่อ R_{act} = ความต้านทาน AC ของตัวนำที่จุดทำงานสูงสุดของอุณหภูมิ

R_{dc} = ความต้านทาน DC ของตัวนำที่จุดทำงานสูงสุดของอุณหภูมิ

Y_s = ค่าตัวประกอบของสกินเอฟเฟกต์

Y_p = ค่าตัวประกอบของสถานะข้างใต้อ่าง

ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อค่าความต้านทาน AC

- (ก) ค่าความต้านทาน DC
- (ข) ผลของสกินเอฟเฟกต์ที่เกิดจากความถี่, ขนาดของตัวนำ, และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำ
- (ค) ผลที่จากเคเบิลข้างเคียง, ระยะห่างระหว่างเคเบิลข้างเคียง
- (ง) สำหรับตัวนำขนาดเล็ก, ขนาด 35 mm หรือเล็กกว่า ผลของสกินเอฟเฟกต์ และผลจากเคเบิลข้างเคียงสามารถตัดทิ้งได้

ค่าของความต้านทาน AC มีบทบาทสำคัญ และเป็นอย่างยิ่งในการออกแบบ และคำนวณค่าความสามารถในการรับกระแสของสายเคเบิล

3.3.3 ความเหนี่ยวนำไฟฟ้า สำหรับลวดคู่

$$L = 0.46 \log_{10} \left(\frac{2S}{d} \right) + k \quad (\text{mH} / \text{km}) \dots\dots\dots (15)$$

- เมื่อ S = ระยะห่างระหว่าง แกนของตัวนำ (mm)
- d = เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำ (mm)
- k = ค่าคงที่ของ สแตรน
 - 0.075 สำหรับ 3 สแตรน
 - 0.064 สำหรับ 7 สแตรน
 - 0.056 สำหรับ 19 สแตรน
 - 0.053 สำหรับ 37 สแตรน และ 61 สแตรน
 - 0.052 สำหรับ 91 สแตรน และ 127 สแตรน
 - 0.050 สำหรับ ตัวนำแบบโซลิด

สำหรับตัวนำ 2 หรือ 3 แกน ค่าความเหนี่ยวนำจากสมการที่ 15 คือนำไปคูณด้วย 1.02

- ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความเหนี่ยวนำ คือ
 - (ก) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำ
 - (ข) จำนวนสแตรนของตัวนำ
 - (ค) ระยะห่างระหว่างตัวนำ

3.3.4 ค่ารีแอกแตนซ์

$$X = 2 \pi f L \quad (\Omega / \text{m}) \dots\dots\dots (16)$$

- ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ ค่ารีแอกแตนซ์คือ
 - (ก) ค่าความเหนี่ยวนำตัวเอง และค่าความเหนี่ยวนำร่วมของตัวนำ
 - (ข) ค่าความถี่ใช้งาน (Hz)

3.3.5 ค่าอิมพีแดนซ์

$$Z = \sqrt{R_{ac}^2 + X^2} \quad (\Omega / \text{m}) \dots\dots\dots (17)$$

การประยุกต์ใช้ค่า อิมพีแดนซ์

- ส่วนวงจรเคเบิลหรือปล
- ส่วนวงจรสแตนท์
- ส่วนวงจรโหลดไฟฟ้า

3.4 การคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance)

ภายใต้สมการที่ 2 นั้น เราจำเป็นต้องคำนวณหาค่า ความต้านทานความร้อนของส่วนต่าง ๆ ของสายเคเบิล (T_1 , T_2 และ T_3) เพื่อให้ได้มาซึ่งความสามารถในการรับกระแสของสายเคเบิลดังกล่าว

3.4.1 ค่าความต้านทานความร้อนระหว่างตัวนำและเปลือกสาย (T_1) สำหรับสายตัวนำแกนเดียว

$$T_1 = \frac{\rho_c}{2\pi} \log_e \left(1 + \frac{2l_1}{dc} \right) \dots\dots\dots (18)$$

- เมื่อ ρ_c = ค่าความต้านทานความร้อนของฉนวน (K m/w)
- dc = เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำ (mm)
- l_1 = ความหนาของฉนวน (ตัวนำถึงเปลือกสาย) (mm)
- สำหรับสายตัวนำหลายแกน

$$T_1 = \frac{\rho_c}{2\pi} G \dots\dots\dots (19)$$

เมื่อ G เป็นตัวประกอบเรขาคณิต

สำหรับตัวนำหลายแกนมี สกรีน

$$T_1 = \frac{\rho_c}{2\pi} G \times \text{Screening factor (คูณในภาคผนวก)} \dots\dots\dots (20)$$

3.4.2 ค่าความต้านทานความร้อน ระหว่างเปลือกสายและเกราะป้องกัน

สาย (T_2)

สำหรับสายตัวนำแกนเดียว และหลายแกน

$$T_2 = \frac{\rho_c}{2\pi} \log_e \left(1 + \frac{2l_2}{D_s} \right) \quad (\text{ คูณในภาคผนวก)} \dots\dots\dots (21)$$

- เมื่อ l_2 = ความหนาของ bedding (mm)
- D_s = เส้นผ่านศูนย์กลางค่านอกของเปลือกสายเคเบิล

3.4.3 ค่าความต้านทานความร้อนของปลอกหุ้มค่านอก (T_3)

$$T_3 = \frac{\rho_c}{2\pi} \log_e \left(1 + \frac{2l_3}{D_3} \right) \dots\dots\dots (22)$$

- เมื่อ l_3 = ความหนาของปลอกหุ้มสายค่านอก (mm)
- D_3 = เส้นผ่านศูนย์กลางค่านอกของ เกราะป้องกันสาย (mm)

ตารางที่ 2 ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุ

Material	Thermal resistivity (K m/w)
<i>Insulation</i>	
Paper (varies with cable type)	5.5-6.5
PE and XLPE	3.5
PVC - up to and including 3 kV over 3 kV	5.0
EPR - up to and including 3 kV over 3 kV	6.0
Butyl rubber and natural rubber	3.5
5.0	5.0
<i>Protective coverings</i>	
Compounded-jute and fibrous materials	6.0
PCT	5.5
PVC - up to and including 35 kV cables over 35 kV cables	5.0
PE	6.0
	3.5
<i>Materials for ducts</i>	
Concrete	1.0
Fibre	4.8
Ashbestos	2.0
Earthenware	1.2
PVC	7.0
PE	3.5

3.4.4 ค่าความต้านทานความร้อน จากภายนอกในอากาศ (T₄)

สมมติว่าได้มีการป้องกันรังสีจากแสงอาทิตย์แล้ว

$$T_4 = \frac{1}{\pi D_e h (\Delta t_s)^{1/4}} \dots\dots\dots (23)$$

เมื่อ D_e = เส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายนอกของสายเคเบิ้ล (mm)

h = สัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนจาก IEC 287

Δt_s = อุณหภูมิของผิวที่เกินจากอุณหภูมิ Ambient (K)

3.4.5 ค่าความต้านทานความร้อนจากภายนอก เมื่อนำเคเบิ้ลฝังดินโดยตรง (T₄)

สำหรับการฝังสายเคเบิลโดยตรง

$$T_4 = \frac{\rho_c}{2\pi} \log_e \left[\mu + (\mu^2 - 1)^{1/2} \right] \dots\dots\dots (24)$$

เมื่อ ρ = ค่าความต้านทานความร้อนของดิน (K m/w)

μ = 2LD_e

L = ระยะจากผิวดินถึงแกนของสายเคเบิ้ล (mm)

D_e = เส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายนอกของสายเคเบิ้ล (mm)

3.4.6 ค่าความต้านทานความร้อนจากภายนอก เมื่อนำเคเบิ้ลฝังลงในช่องทางเดินสาย (Duct)

ในกรณีนี้ T₄ จะเท่ากับผลรวมของค่าความต้านทานความร้อนของอากาศระหว่างเคเบิ้ลกับ Duct (T_{4a}), ค่าความต้านทานความร้อนของ Duct เอง (T_{4d}) และค่าความต้านทานความร้อนภายนอก Duct (T_{4f})

$$T_4 = T_{4a} + T_{4d} + T_{4f} \dots\dots\dots (25)$$

3.4.6.1 ความต้านทานความร้อนของช่องอากาศ (T_{4a})

สำหรับสายเคเบิ้ลเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 25 - 100 mm

$$T_{4a} = \frac{u}{1 + 0.1(v + y t_{am}) D_e} \dots\dots\dots (26)$$

เมื่อ u, v และ y เป็นค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับการติดตั้ง (ดูตารางในภาคผนวก)

D_e = เส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายนอกของสายเคเบิ้ล (mm)

t_{am} = อุณหภูมิเฉลี่ยของช่องอากาศ (°C)

3.4.6.2 ค่าความต้านทานความร้อนของ Duct เอง (T_{4d})

$$T_{4d} = \frac{\rho_c}{2\pi} \log_e \left(\frac{D_o}{D_i} \right) \dots\dots\dots (27)$$

เมื่อ D_o = เส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกของ Duct (mm)

D_i = เส้นผ่านศูนย์กลางด้านในของ Duct (mm)

ρ_c = ความต้านทานความร้อนของวัสดุที่ใช้ทำ Duct ตามตารางที่ 2 (K m/w)

3.4.6.3 ความต้านทานความร้อนภายนอกของ Duct (T_{4f})

สามารถใช้อัตราการเดียวกับสมการที่ 23 ได้ โดยใช้ค่าความต้านทานความร้อนตามวัสดุที่อยู่รอบ ๆ Duct (อาจเป็นคอนกรีตหรือดินก็ได้)

3.5 อุณหภูมิรอบ ๆ ขั้ว (Ambient Temperature)

ค่า Ambient Temperature เฉลี่ยของแต่ละสถานที่ มีค่าแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศนั้น ๆ ไม่ว่าจะเป็นการฝังกับพื้นดิน, เดินลอยในอากาศ อาจจะข้างนอกหรือ อยู่ในตัวอาคารก็ตาม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศของประเทศนั้น ๆ โดยตารางที่ 3 จะแสดงค่าในย่านทั่ว ๆ ไป ที่อยู่ในโลก ส่วนตารางที่ 4 จะแสดงค่า โดยยึดถึงข้อมูลเฉพาะของประเทศนั้น ๆ ซึ่งเป็นเพียงการประมาณเท่านั้นอย่างกว้างตามอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้

ในการใช้ข้อมูลจากตารางเหล่านี้ จะต้องดูหรือเชื่อถือได้เพียงไร ขึ้นอยู่กับข้อมูลในแต่ละประเทศที่ได้มา ซึ่งจะต้องทำการเก็บข้อมูลกันตลอดทั้งปี โดยบันทึกค่าอุณหภูมิสูงสุด, ค่าสุดในแง่ฤดูกาลแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยที่เป็นไปได้ ของแต่ละฤดู ซึ่งมีประเทศต่าง ๆ มากมายที่มีภูมิอากาศที่แตกต่างกันจึงทำให้ ค่าความต้านทานความร้อนของดินในแต่ละประเทศแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด

3.6 อุณหภูมิสูงสุดขณะใช้งาน

อุณหภูมิสูงสุดขณะใช้งานนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำฉนวน การออกแบบสายเคเบิ้ลและ แรงดันที่ใช้ตาม IEC โดยมาตรฐานที่ใช้กันทั่วโลกนั้น แสดงดังในตารางที่ 5 โดยตัวเลขที่ปรากฏอยู่ในตารางนี้ จะเป็นประโยชน์อย่างมากในการพิจารณาฉนวนที่สามารถใช้งานได้ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ แต่อย่าลืมว่า ยังมีองค์ประกอบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องอีกมากในการเลือกขนาดของสายเคเบิ้ล, สำหรับสายเคเบิ้ลในอุณหภูมิของประเทศในแถบเอเชีย เช่น ประเทศญี่ปุ่น (อุณหภูมิ Ambient 30 °C) ดังนั้นค่าอุณหภูมิใช้งานที่ขอมได้ สำหรับฉนวน XLPE คือ 90 °C เพราะค่าสูงสุดในตารางที่ 5 คือ 90 °C และเมื่อเทียบกับ PVC แล้ว อุณหภูมิที่ขอมให้ขณะใช้งานคือ ๗๐ °C เท่านั้น

ตารางที่ 3 อุณหภูมิ Ambient ของอากาศ และดิน (°C) (ไม่เจาะจง)

Climate	Air temperature		Ground temperature (at 1 m depth)	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Tropical	25	33	23	40
Subtropical	10	40	15	30
Temperate	0	25	10	20

4. สรุป

ในการวิเคราะห์ความสามารถในการรับกระแสของสายเคเบิ้ลนั้น ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและตัวแปรหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิ โครงสร้างของสายเคเบิ้ล, วิธีการติดตั้ง โดยหลักการแล้วพบว่า อุณหภูมิ เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุด ซึ่งสายเคเบิ้ลที่สามารถรับกระแสได้สูง ๆ นั้นย่อมหมายความว่า ต้องสามารถระบายความร้อนออกสู่บรรยากาศภายนอกให้ได้อย่างรวดเร็วที่สุด ซึ่งผู้ออกแบบสายเคเบิ้ลต้องคำนึงถึงวัสดุที่จะนำมาผลิต, รูปแบบโครงสร้างที่ง่ายต่อการระบายความร้อน และสุดท้ายคือ ลักษณะการติดตั้ง ก็ต้องการเดินสายลอยในอากาศ, ฝังดินโดยตรง, หรือวางสายเคเบิ้ลในช่องทางเดินสาย(DUCT) ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และวงจรสมมูลสำหรับวิเคราะห์ความสามารถในการรับกระแสของสายเคเบิ้ลในบทความนี้ เป็นเพียงแนวทางในการวิเคราะห์ที่ละเอียดยิ่งขึ้นต่อไป เนื่องจากเงื่อนไขสมการที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ในส่วนของตัวแปรที่จะนำมาวิเคราะห์ ทำให้ต้อง

ใช้ข้อมูลมาก ซึ่งการพัฒนานับจนถึงต้องใช้คอมพิวเตอร์มาเป็นตัวช่วย
ประมวลผลข้อมูลต่าง ๆ ทั้งหมดให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณตุศหงษ์ วิมลศุค COUNTRY MANAGER OF
BICC THAILAND (REPRESENTATIVE OFFICE) ที่ให้ข้อมูล และคอย
ช่วยเหลือในปัญหาต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในการค้นคว้า

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ ทุกคน สำหรับคำแนะนำและความช่วยเหลือ.

6. เอกสารอ้างอิง

- 6.1 Coldenberg H., " Method for the calculation of cyclic rating factors and emergency loading for cables in ground or duct ". ERA Report No. F/T 186 , 1958
- 6.2 Engineering Recommendation , " Current Rating Guide for Distributon Cables ". London : Electricity Council.
- 6.3 IEC 287 , " Calculation of the continuous current rating of cables (100 % load factor) ". 1982.

ตารางที่ 4 อุณหภูมิ Ambient ตามเงื่อนไขของสถานะของหลาย ๆ ประเทศ

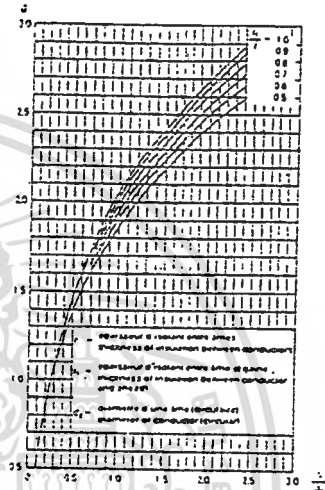
Country	Ambient air temperature (°C)	Ambient ground temperature (°C)	Soil thermal resistivity (K m/W)	Depth of burial (mm)
Australia	40 summer 30 winter	25 summer 18 winter	1.2	500
Austria	20 average	20 maximum	0.7	700
3-4 kV	20 average	20 maximum	0.7	870
10 kV	20 average	20 maximum	0.7	1000
pressure	20 average	20 maximum	1.0	1200
Canada	40 maximum -40 minimum	30 maximum -5 minimum	1.2 ref*	1100 900 1100
France	20 summer 20 winter	20 summer 10 winter	1.2 summer 0.85 winter	
West Germany	30 maximum (-20 to +20 average)	20 maximum 0 minimum	1.0	700 ref* 1200
Japan	40 summer 30 winter	25 summer 15 winter	1.0 average	1200 1500
up to 33 kV pressure				
UK	25 outdoors 30 buildings	15	1.2 ref*	500 800 900
1 kV 33-33 kV pressure				
USA	40 ref*	20	0.9 ref*	900

*ref signifies reference value for rating purposes

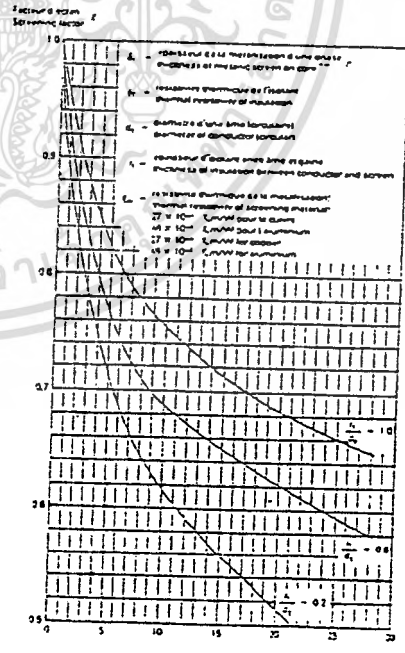
7. ภาคผนวก

ตารางที่ 6 ค่าคงที่ U, V และ Y

Installation condition	U	V	Y
In metallic conduit	5.2	1.4	0.011
In fibre duct in air	5.2	0.33	0.006
In fibre duct in concrete	5.2	0.91	0.010
In asbestos cement duct in air	5.2	1.2	0.006
duct in concrete	5.2	1.1	0.011
Gas pressure cable in pipe	0.95	0.46	0.0021
Oil pressure pipe-type cable	0.26	0.0	0.0726
Plastic ducts	Under consideration		
Earthenware ducts	1.37	0.23	0.0036



รูปที่ 4 ตัวประกอบเรขาคณิต G สำหรับขนาดเคเบิ้ลชนิด 3 แกน ตัวนำกลม



รูปที่ 5 ตัวประกอบ K (Screen factor) สำหรับขนาดเคเบิ้ลชนิด 3 แกน



The Engineering Technology Exhibition
and Symposium 1995



กรุงเทพมหานคร

18-21 สิงหาคม 2538

Bangkok

August 18-21, 1995

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมใหญ่ทางวิชาการประจำปี 2538
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ 18 - 21 สิงหาคม 2538

ระบบผลิตความร้อนด้วยสายฉนวนแร่เปลือกโลหะ
Heat Tracing Systems by Mineral Insulated Cables

นพพร ลิปรีชานนท์

ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล

นักศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

พระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง กรุงเทพฯ

พระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง กรุงเทพฯ

Nopporn Lee

Siriwat Potivejkul

Graduate Student, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand

Asst. Professor, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้จะนำเสนอวิธีการออกแบบระบบส่งถ่ายพลังงานความร้อนด้วยสาย MI Cables ที่เรียกว่า Electric Heat Tracing System สำหรับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เพื่อทดแทนระบบเก่าที่ใช้ระบบไอน้ำ หรือระบบน้ำร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการให้ความร้อนกับท่อส่งของเหลวที่มีความหนืด เช่นท่อส่งน้ำมัน และขบวนการให้ความร้อนในการหลอมเหลววัตถุ เช่นอุตสาหกรรมเม็ดพลาสติก อุตสาหกรรมที่ต้องใช้เรซิน โดยจะแสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการออกแบบของระบบจริง ที่เริ่มตั้งแต่การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียที่ใช้หลักการเดิมและหลักการใหม่ที่จะนำเสนอ ผลที่ได้จะสามารถเป็นแนวทางให้ผู้ประกอบการได้สามารถนำมาพิจารณาในการออกแบบใช้งานสำหรับโครงการที่กำลังเริ่มต้น หรือโครงการเดิมที่ต้องการปรับปรุงระบบให้มีความเสถียรภาพมากขึ้น อีกทั้งยังสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการนี้ได้อีกด้วย จากผลการวิเคราะห์ พบว่า สามารถลดความยุ่งยากในการติดตั้งได้มาก ประหยัดพื้นที่ใช้สอย อีกทั้งมีความน่าเชื่อถือของระบบสูง รวมถึงความปลอดภัยที่สามารถลดอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับผู้ปฏิบัติการ หรือวิศวกรควบคุมได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ME-43

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

This article presents the method of designing for Electric Heat Tracing Systems by Mineral Insulated Cables in mega industries instead of using boiler, especially Heat generation for viscous fluid in pipes. The prospects of end users such as oil refinery, resin plant, petrochemical industry etc. The procedure of designing will be indicated by consider for the possibility of project comparison. The strong and weak point of the original and new principle will be presented. The solution can be the guidance for owner to select in their projects that may be the new or realign to better stability and then reduce the cost of investment. Addition to these, it can reduce the complicated installation, save area and it has been a good reliability and safety.

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมใหญ่ ๆ ประเภทต่าง ๆ นั้น มีกระบวนการผลิตที่ยุ่งยากซับซ้อน กว่าจะได้ผลผลิตทางอุตสาหกรรมออกมา ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ๆ หลายประเภท จะต้องผ่านกระบวนการให้ความร้อน ซึ่งอุณหภูมิของความร้อนนั้นต้องสามารถควบคุมได้ และในการส่งผ่านความร้อนในกระบวนการนั้น ๆ ก็มีอยู่หลายวิธี เช่น กระบวนการส่งความร้อนด้วยพลังไอน้ำความดันต่ำ (Low Pressure Steam) กระบวนการส่งความร้อนด้วยน้ำร้อน หรือ Glycol (Hot Water) , กระบวนการส่งผ่านความร้อนด้วยสายเคเบิล (Heat Tracing Cables) เป็นต้น

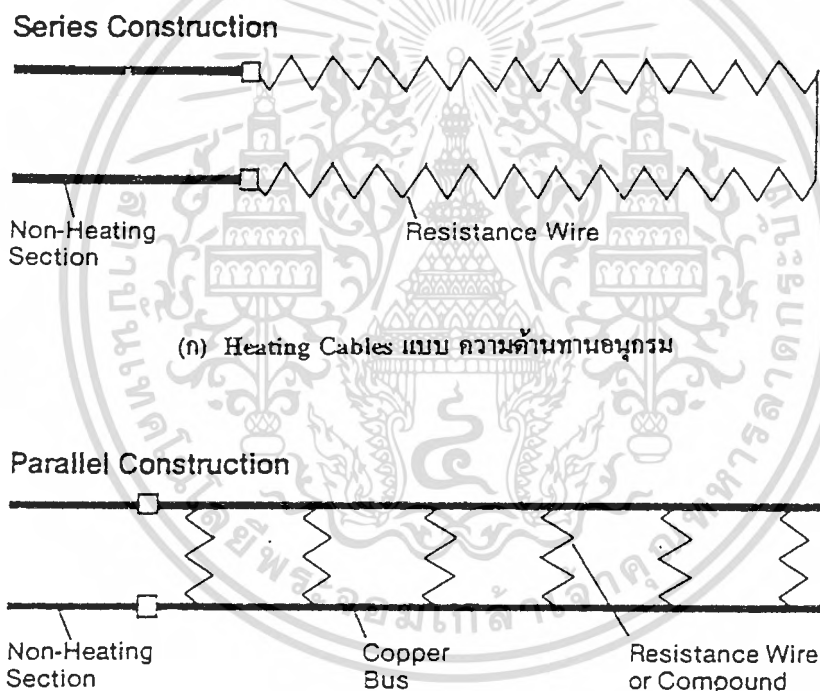
ในการศึกษาและวิจัยกระบวนการผลิตความร้อนในครั้งนี้ ได้พิจารณาถึงระบบผลิตความร้อนด้วยสายเคเบิลชนิดฉนวนแร่เปลือกโลหะ (Mineral Insulated Metal Sheath Cables) หรือที่เรียกกันว่า MI Cables ซึ่งได้นำเอาสายชนิดนี้มาทำเป็นตัวผลิตความร้อนซึ่งต่อไปเราจะเรียกว่า Heat Tracing Cables มาใช้กับระบบท่อโลหะที่ใช้ส่งผ่านของเหลวที่มีอุณหภูมิเป็นลบ ให้มีอุณหภูมิที่สูงขึ้น ไม่ให้ของเหลวเกิดการแข็งตัว หรือระบบท่อส่งน้ำมันที่มีความหนืดของน้ำมันสูง ๆ อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะช่วยให้น้ำมันไหลผ่านท่อได้สะดวกยิ่งขึ้น ส่วนการประยุกต์ในด้านอื่น ๆ นั้น ก็สามารถทำได้ตามความเหมาะสม แต่ควรจะอยู่ภายใต้การควบคุมของวิศวกรผู้ชำนาญ

นอกจากนี้ ในคอนทักซ์ของบทความได้ยกตัวอย่างการออกแบบอย่างพื้นฐานเพื่อให้สามารถเข้าใจการประยุกต์ใช้งานระบบผลิตความร้อนชนิดนี้ได้ดียิ่งขึ้น อีกทั้งยังได้สรุปเรื่องค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ของระบบการผลิตความร้อนชนิดนี้เทียบกับ ชนิดอื่นๆ เพื่อให้ผู้ประกอบการ หรือวิศวกรที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรม ที่จำเป็นต้องใช้ระบบผลิตความร้อนได้นำมาเป็นทางเลือกในการพิจารณาในการปรับปรุง หรือเปลี่ยนแปลงให้ดีขึ้นเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในระบบ.

2. ทฤษฎีและหลักการ

หลักการของการผลิตความร้อนในสายเคเบิลเปลือกโลหะนั้นก็คือ การส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าเข้าไปยังสายเคเบิล กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายเคเบิลจะถูกจำกัดด้วยค่าความต้านทานของสาย พลังงานที่สูญเสียไปในสายเคเบิลจะถูกแปรสภาพเป็นพลังงานความร้อน เราเรียกสายที่ให้ความร้อนนี้ว่า Heating Cables

Heating Cables ที่มีใช้กันอยู่โดยทั่วไปนั้น มีอยู่ 2 ชนิด ชนิดแรกเราเรียกว่า Series Resistance Cables ซึ่งจะมีโครงสร้างที่เป็นตัวต้านทานต่ออนุกรมกัน ส่วนชนิดที่สองเราเรียกว่า Parallel Strip Heating Cable จะมีโครงสร้างที่เป็นแผ่น และมองดูเป็นลักษณะของความต้านทานที่ต่อขนานกัน ดังแสดงในรูปที่ 1.

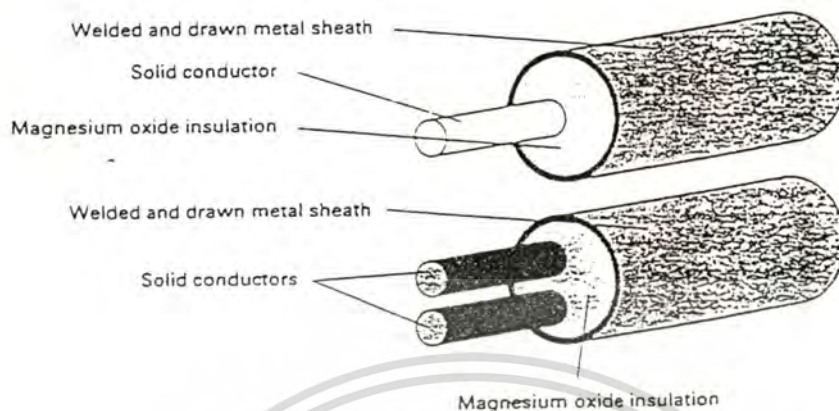


(ก) Heating Cables แบบ ความต้านทานอนุกรม

(ข) Heating Cables แบบแผ่นความต้านทานขนาน

รูปที่ 1. แสดงโครงสร้างของ Heating Cables

Heating Cables ที่ได้นำมาศึกษาในที่อยู่ในบทความนี้ จะเป็น ชนิด Series Cables ซึ่งมีโครงสร้างการผลิตที่ผลิตจากแร่ หรือที่เรียกว่า MI Cables (Mineral Insulated Metal Sheath Cables) ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2. แสดงโครงสร้างของสายเคเบิลชนิดฉนวนแร่เปลือกโลหะ

คุณสมบัติของสาย MI Cables

เนื่องจากโครงสร้างของสาย MI Cables เป็นสารอนินทรีย์ (Inorganic Material) จึงทำให้สายประเภทนี้มีคุณสมบัติที่ดีในการใช้งานในอุณหภูมิสูง ๆ นอกจากนี้ ยังมีประโยชน์อื่น ๆ อีกที่ได้จากสายเคเบิลชนิดนี้เช่น

- 1) Fire Proof สามารถทนอยู่ได้ในสภาวะของเปลวไฟโดยไม่เกิดการลุกลาม สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ที่ต้องการได้ในสภาวะฉุกเฉินในขณะที่เกิดเพลิงไหม้ ไม่มีควันและไม่มีแก๊ซพิษ
 - 2) ประหยัด เนื่องจาก เปลือกโลหะของสายเคเบิลสามารถใช้เป็นสายดินได้ด้วย นอกจากนี้ ความแข็งแรงของเปลือกโลหะยังช่วยป้องกันอันตรายจากภาวะทางกลได้เป็นอย่างดี
 - 3) ใช้งานในสถานที่อุณหภูมิสูงถึง 650 องศาเซลเซียส
 - 4) ฉนวนแมกนีเซียมออกไซด์ได้ถูกผลิตไว้นั้นจากการผลิต และเปลือกสายทำจากโลหะซึ่งป้องกันมิให้แก๊ซและเปลวไฟซึมหรือทะลุเข้าไปภายในสายไฟได้ เหมาะสำหรับใช้ในสถานที่อันตราย
 - 5) อายุการใช้งานยืนยาว ไม่ต้องการการซ่อมบำรุงใด ๆ
 - 6) สามารถทนต่อสภาวะทางเคมี หรือการสึกกร่อน ได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังไม่มีปฏิกิริยากับสารเคมีใด ๆ ได้
- อีกด้วย
- 7) สามารถใช้งานในสถานที่อันตราย ร่วมกับอุปกรณ์ประเภท Explosion Proff ได้
 - 8) สามารถทนได้ในสภาวะที่มีอุณหภูมิเป็นลบ มาก ๆ ในกรณีที่มีการ Shut Down ในกระบวนการผลิต

3. การปฏิบัติกรทางคณิตศาสตร์

3.1 หลักการพื้นฐานของการกำเนิดความร้อน และการนำไปใช้

อุณหภูมิที่สูงขึ้นเนื่องจากการกระจายความร้อนของตัวนำ I^2R ฉนวน W_d และเปลือกสาย λI^2R คูณด้วยความต้านทานความร้อนของแต่ละชั้น ซึ่งเป็นทางไหลของความร้อน (T) ซึ่งจะได้อุณหภูมิที่ใช้ในการคำนวณสำหรับสายเคเบิลที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับดังนี้ :-

$$\Delta t = (I^2R + \frac{1}{2} W_d) + [\lambda I^2R + W_d] n T_2 \quad \text{----- (1)}$$

เมื่อ Δt = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของตัวนำเหนืออุณหภูมิ Ambient ($^{\circ}K$)

I = กระแสที่ไหลในหนึ่งตัวนำ (A)

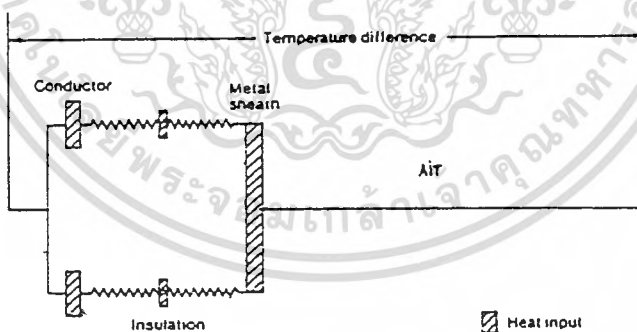
R = ความต้านทานไฟฟ้ากระแสสลับต่อหน่วยความยาวของตัวนำ ณ จุดสูงสุดของอุณหภูมิ ขณะใช้งาน (Ω/m)

W_d = ค่า Dielectric Loss ต่อหน่วยความยาวของฉนวนรอบ ๆ ตัวนำ (W/m)

T_1 = ความต้านทานความร้อนต่อหน่วยความยาวระหว่างตัวนำและเปลือกสาย ($K m/W$)

T_2 = ความต้านทานความร้อนต่อหน่วยความยาวระหว่างเปลือกสายและอากาศ ($K m/W$)

λ = อัตราส่วนระหว่างค่า Loss ของ Metal Sheath กับ Loss ผลรวมของตัวนำทั้งหมดในสายเคเบิล



รูปที่ 3. แสดงผังวงจรการกำเนิดความร้อนของสายเคเบิลเปลือกโลหะขนาด 2 ตัวนำ

จากสมการที่ (1) จะเห็นว่า เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ตัวนำ จนกระทั่งตัวนำไฟฟ้ามีความร้อนเพิ่มขึ้น จนสามารถระบายออกสู่บรรยากาศภายนอกได้

เมื่อนำสายเคเบิลเปลือกโลหะที่ได้รับการป้องกันกระแสไฟฟ้าจนเกิดอุณหภูมิ T_w สูงขึ้น มาติดตั้งกับท่อโลหะที่มีพื้นที่ผิว A และมีอุณหภูมิ T_p (โดยปกติแล้ว $T_p < T_w$ เสมอ) เพื่อที่จะให้อุณหภูมิของท่อโลหะเป็นไปตามที่ ต้องการเราจะได้พลังงานความร้อน Q เป็นไปตามสมการที่ (2)

$$Q = UA(T_w - T_p) \quad \text{————— (2)}$$

เมื่อ Q = พลังงานความร้อนที่สูญเสีย ต่อ ฟุต ในสายเคเบิล (Btu/hr, W)

U = สัมประสิทธิ์การกระจายความร้อน (Btu/hr-ft²-°F, W/m²-°C)

A = พื้นที่ผิวต่อฟุตของสายเคเบิล (ft²/ft, m²/m)

T_w = อุณหภูมิที่ผิวของสายเคเบิล (°F, °C)

T_p = อุณหภูมิของท่อโลหะ (°F, °C)

จะเห็นได้ว่า ถ้าหากอุณหภูมิของท่อ (Load) ยิ่งน้อยเท่าใด ก็ยิ่งต้องสูญเสียพลังงานความร้อนมากขึ้นเท่านั้น นอกจากนี้ พื้นที่ผิวของท่อ และความสามารถในการผลิตความร้อนสายเคเบิลก็ควรต้องพิจารณาด้วย สิ่งเหล่านี้เป็นพื้นฐานที่สำคัญที่จะใช้ในการออกแบบในระบบที่ซับซ้อนยิ่งขึ้นต่อไป

ในตารางที่ 1 เป็นข้อมูลที่จะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ตามสมการที่ (2) โดยข้อมูลเหล่านี้ได้มาจากการทดลอง และนำมาปรับปรุงให้ออกมาเป็นตารางแสดงคุณสมบัติของสาย Heating Cables แบบ Series Resistance

ตารางที่ 1. ตารางแสดงคุณสมบัติของ Heating Cables แบบ Series Resistance

Wire (AWG)	Power Output (W/ft)	Power Output (Btu/hr-ft)	Overall Diameter (in.)	Surface Area (ft ² /ft)	Pipe Temperature (°F)	Wire Temperature (°F)	U Factor (Btu/hr-ft ² -°F)
12	16.3	55.63	0.18	0.047	0	400	2.95
	14.2	48.46	0.18	0.047	50	400	2.94
	12.1	41.30	0.18	0.047	100	400	2.92
	9.9	33.79	0.18	0.047	150	400	2.87
	7.8	26.62	0.18	0.047	200	400	2.82
16	5.7	19.45	0.18	0.047	250	400	2.75
	13.8	47.10	0.15	0.039	0	400	3.00
	12	40.96	0.15	0.039	50	400	2.98
	10.2	34.81	0.15	0.039	100	400	2.95
	8.5	29.01	0.15	0.039	150	400	2.95
19	6.7	22.87	0.15	0.039	200	400	2.91
	4.9	16.72	0.15	0.039	250	400	2.84
	11.6	39.59	0.14	0.035	0	400	2.80
	10.2	34.81	0.14	0.035	50	400	2.81
	8.8	30.03	0.14	0.035	100	400	2.83
	7.4	25.26	0.14	0.035	150	400	2.86
	6	20.48	0.14	0.035	200	400	2.90
4.6	15.70	0.14	0.035	250	400	2.96	

3.2 การคำนวณหาค่าความร้อนที่ต้องการ

3.2.1 ท่อโลหะ (ทั้งภายนอก และ ภายใน)

การคำนวณค่าความร้อนที่สูญเสียควรจะต้องตามข้อมูลในตารางที่ 2 ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ของสมการที่ (3) โดยที่ค่าในตารางที่ 2 จะเป็นอัตราส่วนของ Watts/Ft ของท่อ กับค่า °F ของอุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างอุณหภูมิของ Heating Cables และ อุณหภูมิท่อ

$$\text{Watts/ft ของท่อ} = \frac{K \times 2\pi \times T.D}{4L \ln \frac{D_2}{D_1}} \quad \text{----- (3)}$$

เมื่อ K = ค่าความนำของฉนวน = 0.3 Btu/ hr/ sq ft / °F/ in. (assumed)

D2 = เส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกของ ฉนวน

D1 = เส้นผ่านศูนย์กลางด้านในของฉนวน

T.D.= ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ °F

ตารางที่ 2. แสดงค่า Watts/Ft ของท่อ / T.D. (°F)

Pipe Size In.	Pipe O.D.	Recommended Size of Insulation	Insulation Thickness							
			½"	¾"	1"	1½"	2"	2½"	3"	4"
½	0.840	¾	0.086	0.065	0.054	0.043	0.037	0.033	0.030	0.027
¾	1.050	1	0.102	0.076	0.062	0.048	0.041	0.037	0.033	0.029
1	1.315	1½	0.123	0.090	0.073	0.056	0.047	0.041	0.038	0.033
1¼	1.660	1½	0.142	0.103	0.083	0.063	0.052	0.045	0.041	0.036
1½	1.990	2	0.164	0.118	0.094	0.070	0.058	0.051	0.045	0.039
2	2.375	2½	0.192	0.137	0.109	0.081	0.066	0.057	0.051	0.043
2½	2.875	3	0.229	0.162	0.128	0.093	0.076	0.065	0.058	0.048
3	3.500	3½	0.259	0.181	0.142	0.107	0.083	0.071	0.063	0.052
3½	4.00	4	0.287	0.200	0.157	0.113	0.091	0.077	0.068	0.056
4	4.50	4½	0.316	0.219	0.172	0.123	0.098	0.083	0.073	0.060
4½	5.00	5	0.347	0.243	0.189	0.134	0.107	0.090	0.079	0.065
5	5.563	6	0.417	0.284	0.219	0.155	0.121	0.103	0.089	0.073
6	6.625	7	0.472	0.322	0.250	0.174	0.136	0.114	0.099	0.080
8	8.625	10	0.634	0.438	0.338	0.234	0.183	0.151	0.130	0.104
10	10.750	10	0.634	0.438	0.338	0.234	0.183	0.151	0.130	0.104
12	12.750	12	0.776	0.521	0.397	0.275	0.212	0.175	0.149	0.119
14	14.00	14	0.834	0.566	0.431	0.298	0.230	0.190	0.162	0.128
16	16.00	16	0.961	0.650	0.498	0.334	0.258	0.212	0.181	0.142
18	18.00	18	1.088	0.735	0.555	0.379	0.289	0.236	0.200	0.156
20	20.00	20	1.190	0.781	0.598	0.416	0.319	0.260	0.219	0.171
24	24.00	24	1.430	0.954	0.731	0.490	0.374	0.305	0.259	0.200
30	30.00	30	1.75	1.177	0.890	0.602	0.459	0.372	0.315	0.243
36	36.00	36	2.095	1.406	1.062	0.717	0.545	0.491	0.372	0.286
42	42.00	42	2.440	1.636	1.234	0.832	0.631	0.510	0.430	0.329
48	48.00	48	2.784	1.866	1.406	0.947	0.717	0.579	0.487	0.372

ค่าที่ได้ในตารางที่ 2 จะเป็นไปตามค่า K สำหรับฉนวนของท่อที่มีค่า 0.3.

ตัวอย่างที่ 1 ท่อขนาด 6 " ความหนาของฉนวนเท่ากับ 2 " โดยอุณหภูมิที่ต้องการคือ 125 °F อุณหภูมิ Ambient คือ -25 °F ดังนั้นจะได้ค่า Watts/Ft ของท่อคือ

$$0.136 \times [125 - (-25)] = 20.4 \text{ W/Ft}$$

ในกรณีที่รู้ชนิดของฉนวน ค่า K ที่ถูกต้องสามารถหาได้จากข้อมูลของผู้ผลิต หรือสามารถใช้ค่าจากตารางที่ 3 แทนได้

ตัวอย่างที่ 2 จากตัวอย่างที่ 1 ถ้า ฉนวนเป็น Fiberglass

$$\text{อุณหภูมิเฉลี่ย} = \frac{125 + (-25)}{2} = 50 \text{ °F}$$

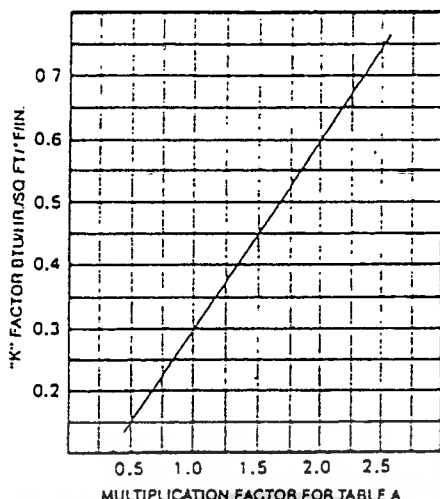
ดังนั้น ค่า K ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.25 สำหรับ Fiberglass

ตารางที่ 3 ตารางแสดงค่า ตัวประกอบความนำของฉนวน หรือค่า K แพคเกจของฉนวนชนิดต่าง ๆ

INSULATION TYPE	DENSITY (LB./CU.FT.)	"K" FACTOR OF INSULATION (BTU/HR./SQ.FT./°F.IN.)										
		AT MEAN TEMP. OF										
		-18°C 0°F	10°C 50°F	38°C 100°F	66°C 150°F	93°C 200°F	121°C 250°F	149°C 300°F	177°C 350°F	204°C 400°F	232°C 450°F	260°C 500°F
Asbestos Fiber	12	0.27	0.28	0.30	0.33	0.36	0.38	0.41	0.46	0.46	0.49	0.52
Calcium Silicate	13	0.35	0.37	0.38	0.40	0.41	0.43	0.44	0.46	0.48	0.51	0.53
Cellular Glass	9	0.25	0.38	0.41	0.44	0.47	0.50	0.53	0.55	0.57	0.62	0.73
Fiberglass	11	0.23	0.25	0.28	0.31	0.34	0.36	0.39	0.42	0.45	0.47	0.50
Mineral Fiber	12	0.25	0.28	0.31	0.33	0.35	0.37	0.39	0.41	0.43	0.45	0.56
Polystyrene Foam	2	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.35					
Urethane Foam	2	0.13	0.12	0.12	0.13	0.17	0.24					

NOTE: Mean Temperature = $\frac{\text{Tempo. Inside Insulation} + \text{Tempo. Outside Insulation}}{2}$

ค่าตัวประกอบ K ที่ได้จากรายการที่ 3 สามารถนำไปหาค่าตัวประกอบตัวคูณได้จากรูปที่ 4. แล้วนำไปคูณกับค่าที่ได้จากรายการที่ 2 ซึ่งจากค่า K ที่ได้ในตัวอย่างที่ 2 เท่ากับ 0.25 จะได้ตัวคูณประกอบเท่ากับ 0.8 ดังนั้น พลังงานความร้อนที่ได้จากตัวอย่างที่ 1 จะลดลงเป็น $20.4 \times 0.8 = 16.3 \text{ W/Ft}$.



รูปที่ 4 Collection Factor สำหรับค่า K

3.2.2

ปั๊ม (Pump)

ปั๊ม ควรจะมี Heater ในตัว แยกออกจาก Line ของท่อ แต่อย่างไรก็ตาม Heater นี้สามารถต่ออนุกรมกับยูนิทของ Suction Line ได้ ซึ่งจะได้อัตราพลังงานความร้อนคือ

$$W/ft = \frac{A \times K \times T.D. \times 0.7}{L} \tag{4}$$

เมื่อ A = พื้นที่ผิวทั้งหมด (ft²)

K = ค่า Thermal Conductivity ของฉนวน (ปกติใช้ 0.3 Btu/hr/sq ft / °F / inch)

T.D = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ (°F)

L = ความหนาของฉนวน (inch)

3.2.3 แท็งก์ (Tank)

ความต้องการความร้อนของ แท็งก์ หาได้จาก

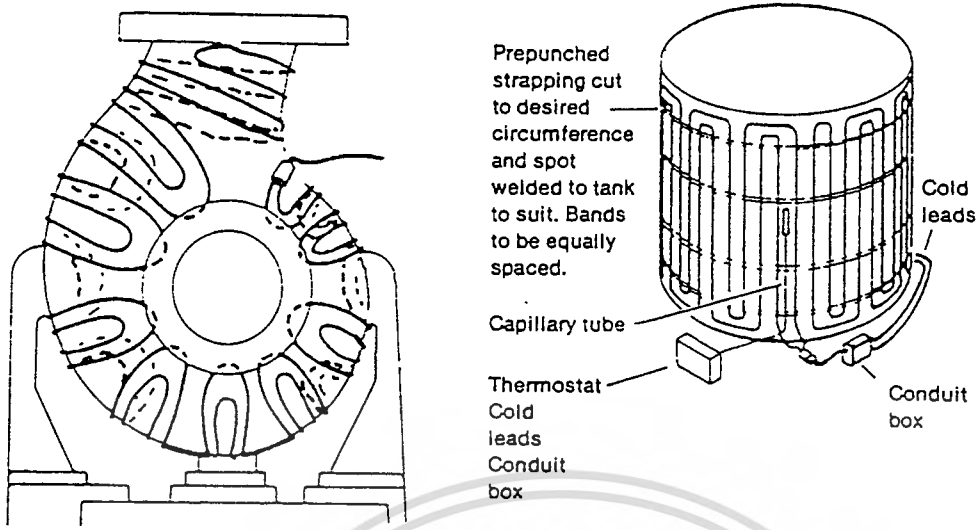
$$W/ft = \frac{A \times K \times T.D. \times 0.366}{L} \tag{5}$$

เมื่อ A = พื้นที่ผิวทั้งหมด(ft²)

K = ค่า Thermal Conductivity ของ ฉนวน (ปกติใช้ 0.3 Btu/hr/sq ft / °F/inch)

T.D = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ (°F)

L = ความหนาของฉนวน (inch)



รูปที่ 5 แสดงการติดตั้ง Heating Cables บน Pump และ Tank

แหล่งระบายความร้อน (Heat Sinks)

Heat Sinks เป็นอุปกรณ์ที่ถูกติดตั้งในระบบท่อ Pipe Line ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้ต้องใช้พลังงานความร้อนสูงขึ้นกว่าค่าที่ควรจะเป็น เมื่อเทียบกับการที่มีท่อในแนวเส้นตรงเท่านั้น พลังงานที่สูญเสียเหล่านี้จะผ่านทางตัวนำความร้อนเช่น ตัวจับยึดโลหะ (Metal Supports) . พื้นที่ผิวที่เพิ่มขึ้น ,ฉนวนความร้อนที่บางลงและอะไรก็ตามที่เป็นเหตุในลักษณะเดียวกัน Heat Sinks ทำให้ผู้ออกแบบต้องเพิ่มปริมาณความร้อนลงในพื้นที่บริเวณนั้น และก็ไม่อาจแน่ใจได้ว่า จะให้ความร้อนคงที่ต้องการหรือไม่ ดังนั้น Heat Sinks จึงเป็นเหตุผลอันหนึ่งที่ทำให้ไม่สามารถตอบได้เลยว่า จะรักษาอุณหภูมิให้ใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการควบคุมในวงจรที่กับหนดไว้ได้หรือไม่

ขอบท้อ (Flanges)

Flanges มีอยู่มากมายในระบบท่อทั่ว ๆ ไป ซึ่งมีไว้สำหรับความสะดวกในการถอดประกอบและเคลื่อนย้าย ท่อFlanges เป็นปัญหาหนึ่งที่ผู้ออกแบบและผู้ติดตั้งกำลังเผชิญอยู่ น้ำหนักและพื้นที่ผิวที่มากกว่าเมื่อเทียบกับท่อตรงทั่วไป เป็นเหตุให้เกิด Loss สูงมาก ดังนั้นในส่วนนี้จึงต้องใช้สายเคเบิลที่ใหญ่ขึ้นตามไปด้วย ตารางที่ 5 จะช่วยเป็นแนวทางในการใช้คำนวณค่า Loss ที่บริเวณที่เป็น Heat Sinks

ตารางที่ 4. ตัวคูณที่ใช้เป็นแนวทางในการหาค่า Loss ที่เกิดจาก Heat Sinks

Pipe Size (in.)	0.5	0.75	1	1.25	1.5	2	2.5	3	4	6	8	10	12	14
Gate Valves	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5	5.5	6.0	6.0	6.5	7.5	8.0
Globe Valves	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	5.0	5.0	5.0	5.0	5.4	5.4	5.9	6.8	7.2
Bull Valves	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.9	3.9	3.9	3.9	4.2	4.2	4.6	5.3	5.6
Butterfly Valves	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.9	4.5	4.8
150 lb Flanges	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.3	1.3	1.3	1.3	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0
300 lb Flanges	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.4	1.4	1.5	1.5	1.6	1.7	1.8	2.2	2.2
Orifice	1.3	1.3	1.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	—	—	—
Direct Pipe Support	3.5	3.0	2.5	2.3	2.0	1.8	1.8	1.5	1.3	1.0	1.0	0.8	0.8	0.5

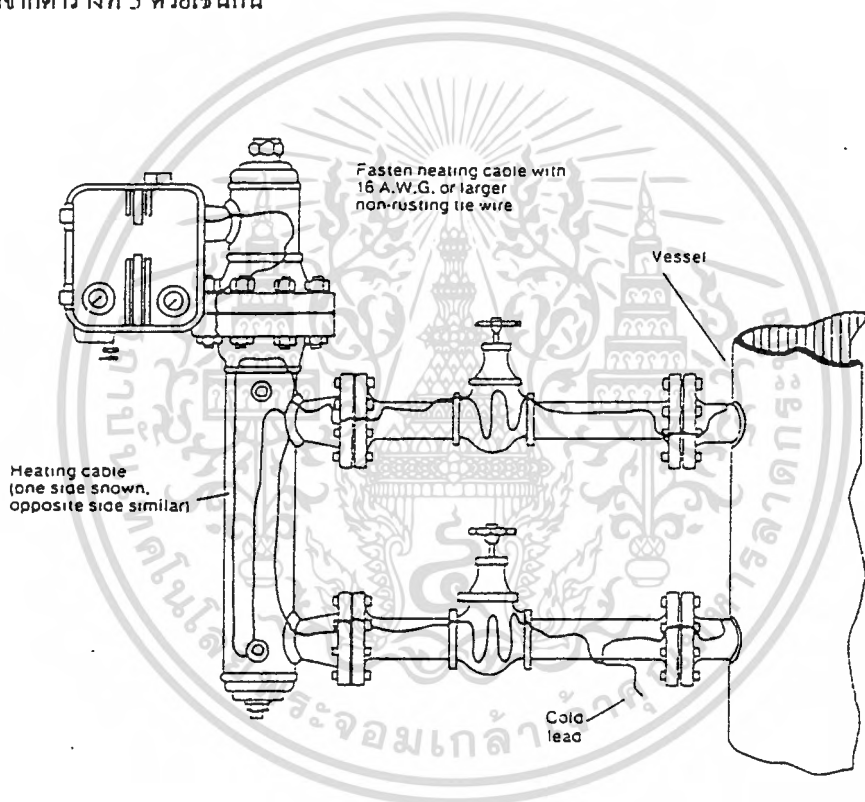
Note: Multiply watts loss per foot of pipeline by number in table to get losses at heat sink.

วาล์ว (Valves)

Valves ก็เป็น Heat Sinks คล้าย ๆ กับ Flanges แต่มักจะมีขนาดใหญ่กว่า ดังนั้น Loss จึงมีมากกว่า ในตารางที่ 5 ยังสามารถประยุกต์ใช้กับ Valves ได้ด้วย

ตัวยึดโลหะ (Metal Supports)

Supports เป็นแหล่ง Heat Sink ที่ใหญ่มาก เพราะปกติแล้วมักจะเป็นโลหะที่สามารถนำความร้อนได้ดี วิธีแก้ปัญหานี้อาจทำได้โดย แขนง Supports ไว้ด้านนอกของฉนวนความร้อน นอกจากนี้ ยังสามารถหา Loss จาก Heat Sinks ประเภทนี้ได้จากตารางที่ 5 ด้วยเช่นกัน



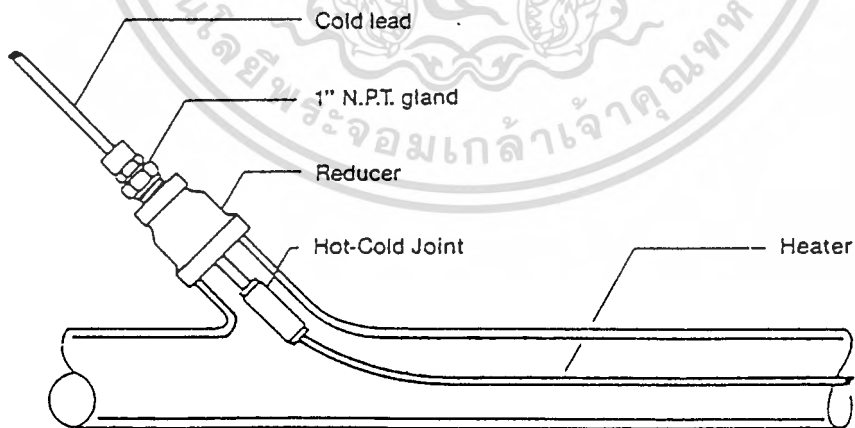
รูปที่ 6 ตัวอย่างของ Heat Sinks ในระบบท่อ Pipe Line

ตารางที่ 5 เปอร์เซนต์ที่ควรเผื่อไว้ในการกำหนดความยาวสายเคเบิล

Pipe Size (Inches)	Flange or Check Valve (Inches Per Run of Cable)	Globe or Gate Valve (Inches Per Run of Cable)	Pipe Shoes And Supports	Field Vanabon Allowance (Percent of Cable Length)
1/2	6	0	NOTE A	2%
3/4	6	3	NOTE A	2%
1	6	6	NOTE A	2%
1 1/2	6	6	NOTE A	2%
2	9	9	NOTE A	2%
3	9	15	NOTE B	3%
4	9	15	NOTE B	3%
6	9	18	0	3%
8	9	21	0	3%
10	9	21	0	3%
12	9	27	0	3%
14	12	30	0	3%
16	12	39	0	3%
18	12	42	0	3%
20	12	45	0	3%
24	12	45	0	3%
30	12	48	0	3%
36	12	66	0	3%
48	12	72	0	3%

4.3 การติดตั้งสายไว้ด้านในท่อ (Internal)

ในบางกรณีที่มีการติดตั้ง Heater ภายนอกท่อ อาจไม่เอื้ออำนวยต่อการติดตั้ง เช่นกรณีที่ถูกฝังอยู่ในพื้นดิน หรืออยู่ใต้น้ำเป็นต้น จึงทำให้การติดตั้ง Heater ไว้ด้านในเป็นทางเลือกที่ดีกว่า



TYPICAL INSTALLATION

Internal traced section of pipe

รูปที่ 8 การติดตั้ง Heater ด้านในของท่อ

5. การออกแบบ และเลือกใช้ Heat Tracer

ข้อมูลที่จำเป็นต้องทราบ

- ขนาดของท่อ : ความยาว , เส้นผ่านศูนย์กลาง
- ความหนา และชนิดของฉนวน
- อุณหภูมิที่ใช้งาน
- อุณหภูมิที่จะคงไว้
- อุณหภูมิที่อยู่บริเวณรอบ ๆ (Ambient Temp)
- แรงดันไฟฟ้าที่ใช้
- ประเภทของของสถานที่อันตราย
- จำนวนของ valve และ Flange

ตัวอย่างการออกแบบอย่างง่าย

1. ออกแบบและเลือกใช้ Heat Tracing Cables เพื่อป้องกันการแข็งตัวเนื่องจากความเย็นของท่อขนาด 1 นิ้ว ยาว 80 ฟุต อุณหภูมิ Ambient -20°F , ความหนาของฉนวนเท่ากับ 1 นิ้ว มี Valve 1 ตัวแต่ไม่มี Flange ใช้แรงดันขนาด 115/230 Volts.

1. คำนวณหาค่า W/Ft ตามตัวอย่างที่ 1

$$\begin{aligned} \text{Watts/Ft (จากตารางที่ 2)} &= 0.073 \times [40 - (-20)] \\ &= 0.073 \times 60 = 4.4 \text{ W/ft} \end{aligned}$$

2. กำหนดความยาวของ Tracer

ลองใช้ Design D , ดังนั้น

$$\text{ความยาวของสายเคเบิล} = (80 \times 1.02) + \frac{1}{2} = 82 \text{ Feet}$$

3. เลือก Heating Cables

$$\text{ค่า Watts ตามทฤษฎี} = 82 \times 4.4 = 361 \text{ Watts}$$

$$I_t = \frac{361}{115} = 3.2 \text{ Amps}$$

$$R_i = \frac{115}{32} = 36.3 \text{ Ohms}$$

$$R/Ft = \frac{36.3}{82} = 0.44 \text{ Ohms/Ft.}$$

เลือก 21E2 = 0.4 Ohms/ft จากตารางที่ 6

$$R_A = 0.4 \times 82 = 32.8 \text{ Ohms}$$

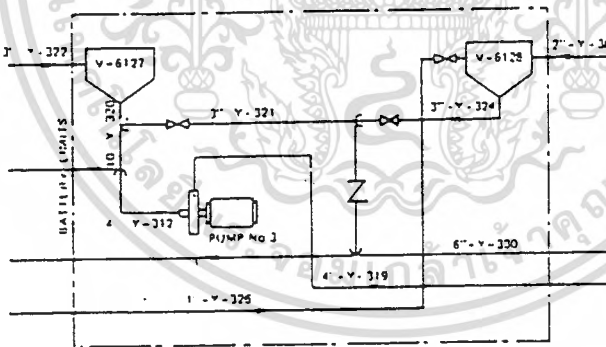
$$I_A = \frac{115}{32.8} = 3.5 \text{ Amps}$$

$$W_A = 115 \times 3.5 = 400 \text{ Watts}$$

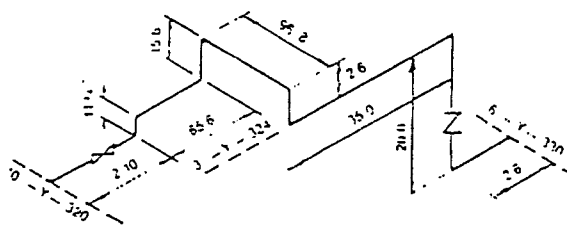
$$W/Ft = \frac{400}{82} = 4.9 \text{ Watts/ft}$$

จะเห็นได้ว่า 21E2 ที่เลือกนำมาใช้ สามารถ Operate ได้ที่ 18 W/ft บนท่อที่มีอุณหภูมิ 40 °F ดังนั้นจึงสามารถใช้งานได้

2: จงออกแบบ และเลือกใช้ Heat tracing cables สำหรับ line 3"-Y-321 เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิให้ได้ 65°F
 คังรายละเอียดตามแบบข้างล่างนี้ :-



และ Piping Isometric สำหรับ 3"-Y-321 คือ



ถ้าข้อมูลจาก Line Data List เป็นดังนี้

ฉนวน Fiberglass หนา 1" อุณหภูมิใช้งานสูงสุดใน Line ได้ถึง 350 °F

อุณหภูมิที่เครื่องปรับอากาศรับมาไว้คือ 65 °F

อุณหภูมิ Ambient -10°F (Outdoors)

แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ 110/220 V, 1 เฟส หรือ 380 V, 3 เฟส

1. คำนวณปริมาณพลังงานความร้อนที่ต้องการ

A) จากตารางที่ 2 จะได้

$$0.142 \times [65 - (-10)] = 10.65 \text{ Watts/ft}$$

B) เลือกฉนวนที่เป็น Fiberglass

$$\text{อุณหภูมิเฉลี่ย} = \frac{65 + (-10)}{2} = 28^\circ \text{F}$$

จากตารางที่ 3 ค่า K แฟกเตอร์สำหรับ Fiberglass คือ 0.25

$$\therefore \text{ค่า Watts/Ft ที่ถูกต้อง (ได้จากรูปที่ 4) คือ } 0.8 \times 10.65 = 8.5 \text{ Watts/ft.}$$

2. กำหนดความยาวของ Tracer

จาก Flow diagram จะเห็นว่าเส้นทางที่เป็นจุดเริ่ม ของการไหลที่เปลี่ยนแปลงได้ที่ 3"-Y-324 ซึ่งทำให้ต้องแยกหมายเลข 321 ออกเป็น 2 ทางในการควบคุมอุณหภูมิอย่างอิสระ โดยมีการไหลของหมายเลข 324 อยู่ในทิศทางข้ามซึ่งจริง ๆ แล้ว สามารถใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิเพียงตัวเดียวก็ได้ ขึ้นอยู่ที่ว่า เราต้องการความเที่ยงตรงมากน้อยเพียงใด

2A- กำหนดให้หมายเลข 321 บริเวณระหว่าง 320 และ 324 เป็น 321A และส่วนบริเวณระหว่าง 324 และ 330 เป็น 321B.

ความยาวของ 321A คือ 184' + 1 Valve

$$\therefore \text{Length/Run ของสายเคเบิลคือ } (184 \times 1.02) + 1 \frac{1}{4} = 189'$$

(เป็นค่าที่รวมความยาว cable/run ของ valve และ ค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากตารางที่ 5

$$\text{พลังงานความร้อนที่ต้องการคือ } 8.5 \times 189 = 1606 \text{ Watts}$$

2B- ความยาวของหมายเลข 321B คือ 372.5 + 1 check valve

$$\therefore \text{Length/run ของสายเคเบิลคือ } (372.5 \times 1.02) + \frac{3}{4} = 381'$$

$$\text{พลังงานความร้อนที่ต้องการคือ } 8.5 \times 381 = 3238 \text{ Watts}$$

3. เลือก Heating Cables

3A - เลือก Heating Cables สำหรับ Heater 321A.

เอกสารเราเลือกใช้ระดับแรงดัน 220 V. กับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A) I_T = \frac{W}{E_T} = \frac{1606}{220} = 7.3 \text{ Amps.}$$

$$B) R_T = \frac{E}{I_T} = \frac{220}{7.3} = 30.1 \text{ Ohms.}$$

ลองเลือก Design แบบ D \therefore ความยาวของ Heater = 189'

$$C) R/Ft_T = \frac{R_T}{L} = \frac{30.1}{189} = 0.159 \text{ W/Ft.}$$

D) สายเคเบิลที่มีค่าใกล้เคียงที่สุดคือ R14S2 @ 0.150 Ω /Ft. จากตารางที่ 6

$$E) R_A = R/Ft \times L = 0.150 \times 189 = 28.35 \text{ Ohms.}$$

$$F) I_A = \frac{E}{R} = \frac{220}{28.35} = 7.76 \text{ Amps.}$$

$$G) W_A = E \times I_A = 220 \times 7.76 = 1707 \text{ Watts.}$$

$$H) W/Ft. = \frac{W_A}{L} = \frac{1707}{189} = 9.03 \text{ W/Ft.}$$

สรุป เลือกสายเคเบิล R14S2.

3B- เลือก Heating Cables สำหรับ Heater 321B.

เลือกใช้แรงดันขนาด 220 Volt

$$A) I_T = \frac{3238}{220} = 14.72 \text{ Amps.}$$

$$B) R_T = \frac{E}{I_T} = \frac{220}{14.72} = 14.95 \text{ Ohms.}$$

เลือก Heater 2 คิวน่า Design แบบ D

$$C) R/Ft_T = \frac{14.95}{381} = 0.039 \text{ W/Ft.}$$

D) ลองเลือกสายเคเบิล R12E2 ที่ 0.028 Ω /Ft. จากตารางที่ 6

$$E) R_A = R/Ft \times L = 0.028 \times 381 = 10.67 \text{ Ohms.}$$

$$F) I_A = \frac{E}{R_A} = \frac{220}{10.67} = 20.62 \text{ Amps.}$$

$$G) W_A = E \times I_A = 220 \times 20.62 = 4536 \text{ Watts.}$$

$$H) \text{ Watts/Ft.} = \frac{W_A}{L} = \frac{4536}{381} = 11.9 \text{ Watts/Ft.}$$

สรุป สามารถใช้สายเคเบิล R12E2 ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และแจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 ตารางคุณสมบัติของสาย MI electric heat tracing cables แบบ 2 ตัวนำ

Two-Conductor Heating Cable Range and Maximum Ratings

Job Reference	Conductor Material	Nominal cable res. at 25°C (77°F)		Approx. cable dia.		Max. unspooled length (ft.) (m.)	Maximum recommended watt/ft. of cable when:						
		(ohms/ft. of cable)	(ohms/m. of cable)	(in.)	(mm.)		Strapped to separated metal pipe AC						
							A in sq	F 5°C 40°F	G 33°C 100°F	H 53°C 200°F	J 149°C 300°F	K 204°C 400°F	
3/16" E M													
10Y CONDUCTOR - COPPER SHEATH 300V													
25E2	E	0.80	2.624	0.17	4.3	1000	305	26	18	18	13	8	--
23E2	E	0.60	1.968	0.18	4.6	1000	305	29	18	18	14	7	--
31E2	E	0.40	1.312	0.18	4.6	1000	305	29	18	18	14	7	--
20E2	E	0.30	0.984	0.19	4.8	1000	305	30	18	18	14	7	--
19E2	E	0.125	0.41	0.20	5.1	1000	305	38	19	19	15	7	--
7E2	E	0.10	0.328	0.21	5.3	1000	305	38	19	19	15	7	--
16E2	E	0.07	0.230	0.23	5.8	1000	305	38	19	19	15	7	--
14E2	E	0.044	0.144	0.26	6.6	1000	305	38	19	19	15	7	--
25E2	E	0.028	0.092	0.30	7.6	1000	305	38	19	19	15	7	--
10Y CONDUCTOR - COPPER SHEATH 600V													
317E2	E	0.095	0.3117	0.28	7.1	1000	305	38	20	20	20	10	--
316E2	E	0.070	0.2296	0.31	7.9	1000	305	38	21	21	21	11	--
314E2	E	0.044	0.1443	0.34	8.6	1000	305	40	22	22	22	12	--
312E2	E	0.028	0.0918	0.37	9.4	900	274	42	24	24	24	12	--
10Y CONDUCTOR - ALLOY 825 STAINLESS STEEL SHEATH 300V													
35S2	N	11.0	36.08	0.12	3.0	1000	305	85	35	35	35	35	35
35S2	N	6.0	19.68	0.13	3.3	1000	305	95	39	39	39	39	39
34S2	N	4.0	13.12	0.16	4.1	900	274	180	60	60	60	60	60
32S2	N	2.0	6.56	0.17	4.3	750	229	180	60	60	60	60	60
9S2	N	1.0	3.28	0.20	5.1	650	198	180	60	60	60	60	60
8S2	S	0.7	2.296	0.17	4.3	800	244	180	60	60	60	60	60
7S2	S	0.5	1.64	0.20	5.1	560	171	180	60	60	60	60	60
6S2	S	0.3	0.984	0.22	5.6	495	151	180	60	60	60	60	60
5S2	O	0.2	0.656	0.16	4.1	1020	311	180	60	60	60	60	60
4S2	O	0.15	0.492	0.16	4.1	900	274	180	60	60	60	60	60
3S2	O	0.10	0.328	0.18	4.6	840	256	180	60	60	60	60	60
1S2	Q	0.07	0.22	0.20	5.1	690	305	180	60	60	60	60	60
0S2	O	0.05	0.16	0.22	5.6	490	149	180	60	60	60	60	60
10Y CONDUCTOR - ALLOY 825 STAINLESS STEEL SHEATH 600V													
329S2	N	11.0	36.08	0.22	5.6	490	149	160	61	61	61	61	61
325S2	N	6.0	19.68	0.24	6.1	420	128	160	61	61	61	61	61
324S2	N	4.0	13.12	0.24	6.1	420	128	170	64	64	64	64	64
322S2	N	2.0	6.56	0.26	6.6	330	101	180	68	68	68	68	68
319S2	N	1.0	3.28	0.27	6.9	320	97	190	70	70	70	70	70
318S2	B	0.7	2.296	0.25	6.6	340	104	180	68	68	68	68	68
317S2	B	0.5	1.64	0.27	6.9	320	97	180	68	68	68	68	68
316S2	B	0.3	0.984	0.29	7.4	290	88	190	70	70	70	70	70
315S2	O	0.2	0.656	0.24	6.1	410	125	180	68	68	68	68	68
314S2	O	0.15	0.492	0.25	6.4	390	119	180	68	68	68	68	68
313S2	O	0.10	0.328	0.27	6.9	350	107	190	70	70	70	70	70
311S2	O	0.07	0.22	0.311	7.9	250	76	190	82	82	82	82	82
310S2	O	0.05	0.16	0.339	8.6	213	65	190	82	82	82	82	82
39S2	O	0.04	0.13	0.347	8.8	200	61	190	82	82	82	82	82
38S2	O	0.03	0.10	0.385	9.8	150	46	190	82	82	82	82	82

FE: (1) Tolerance on conductor resistance is $\pm 10\%$.

(2) Information on special ratings for hazardous locations available on request.

(3) In hazardous areas, the heater sheath temperature must not exceed the permissible ignition temperature for the area.

6. การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของ Heat Tracing Electric Cables กับ ระบบอื่น ๆ

ได้มีการศึกษาในเรื่องค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการลงทุนติดตั้งระบบผลิตความร้อนในหลาย ๆ วิธี ซึ่งได้ผ่านการวิจัยโดยหน่วยงานอิสระ คือ Kilbom Limited จากประเทศแคนาดา ซึ่งเป็นบริษัทที่ปรึกษาโครงการ ที่เป็นผู้ริเริ่มศึกษาและประเมินค่าใช้จ่าย และข้อมูลอื่น ๆ ของ Heat Tracing แบบต่าง ๆ ซึ่งเป็นข้อมูลให้ผู้ใช้งานหรือผู้เกี่ยวข้องด้านอุตสาหกรรมได้สามารถเลือกใช้และประยุกต์ระบบผลิตความร้อนให้เหมาะสมที่สุดกับกิจการนั้น ๆ

วิธีการของ Heat Tracing ที่ได้นำมาศึกษาประกอบด้วย :-

- Mineral Insulated (MI) series type electric tracers
- Self-Regulating (SR) parallels type electric tracers
- Low Pressure Steam
- Glycol (Hot Water)

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ทดสอบกับท่อที่ใช้สารไฮโดรคาร์บอนเพื่อสร้างไอน้ำจำนวน 3 เส้น และท่อส่งน้ำ 3 เส้น ซึ่งติดตั้งให้เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิตในโรงกลั่นน้ำมันที่ได้กำลังปรับปรุงโครงการ ความยาวของแนวท่อทั้งหมด 760 เมตร โดยสารไฮโดรคาร์บอนจะถูกกำหนดให้ใช้งานที่ 90 % ของเวลาที่กำหนด เพื่อให้ได้ไอน้ำที่อุณหภูมิ 175 °C ในขณะที่เส้นของน้ำร้อนใช้เวลาเพียง 50% เท่านั้น และแบบที่เป็นระบบไฟฟ้าอนุโลมให้ใช้ในสถานที่อันตรายชั้น 1 ประเภท 2 ได้ และต้องไม่เป็นสารที่ทำให้เกิดการสึกกร่อนได้ ดังนั้น สายเปลือกลโลหะที่ทำจากทองแดง และ สแตนเลสสตีล Alloy 825 จึงได้ถูกพิจารณาเลือกใช้ ดังนั้น บนฐานของข้อมูลต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น จึงได้ถูกนำมาออกแบบ ประมาณราคา ทั้งส่วนของค่าใช้จ่ายวัสดุ ค่าแรงงานติดตั้ง และพลังงานที่ต้องใช้ในระบบ.

การประมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการติดตั้งทั้งหมด

	S/เมตรต่อ
MI -เปลือกทองแดง	93
-เปลือกสแตนเลส Alloy 825	130
SR	207
น้ำ (25 psig)	145
น้ำร้อน (82°C)	132

จุดที่น่าสนใจในเรื่องราคาที่มีความแตกต่างกันของ Tracing System ที่เป็นระบบไฟฟ้าทั้งสองชนิดระหว่าง MI กับ SR พิจารณาได้จากข้อมูลข้างล่างนี้

Electric Tracers

	MI(ทองแดง)		SR	
	ค่าแรง	ค่าวัสดุ	ค่าแรง	ค่าวัสดุ
Tracer	26,442	23,894	19,262	57,363
Power distribution	10,792	9,770	50,172	30,576
ค่าใช้จ่ายรวม	37,234	33,664	69,434	87,939

ค่าใช้จ่ายโดยรวมที่สูงกว่าในการติดตั้งสาย SR เนื่องจาก ต้นทุนเริ่มแรกในระบบกระจายกำลังไฟฟ้า(Power distribution) ของสายมีค่าสูงกว่ามาก เพราะระบบที่ใช้ SR มีวงจรควบคุมที่เกี่ยวข้องมากกว่า แคล้วใช้จำนวนสั้น ๆ เช่น ท่อ bypass สายแบบ SR ก็ดูจะเหมาะสมกว่า เนื่องจากค่าแรงในการติดตั้งถูกกว่าชนิดอื่น ๆ

ปริมาณพลังงานที่ถูกใช้ในรมปี

ปริมาณการใช้พลังงานที่ถูกนำมาใช้ในระบบท่อส่งความร้อนได้ถูกนำมาเป็นตัวพิจารณาการเลือกระบบในระยะยาว ซึ่งจากข้อมูลข้างล่างแสดงให้เห็นว่า ระบบที่ใช้ไฟฟ้าจะใช้พลังงานน้อยกว่าระบบอื่น ๆ เนื่องจากระบบที่ใช้ไอน้ำ และน้ำร้อนจะมีพลังงานที่สูญเสียภายใต้สภาวะการไหลของของเหลว (Flow Condition) แต่ถ้าแยกพิจารณาระหว่างระบบไอน้ำ และระบบน้ำร้อนจะเห็นว่า ระบบไอน้ำจะใช้ปริมาณพลังงานมากกว่าระบบน้ำร้อนมากพอสมควร อันเนื่องจากการกระจายความร้อนที่มีประสิทธิภาพต่ำจากการรั่วซึมของไอน้ำ (Trap leaks)

	Kwh
Electric Tracing	6400
ระบบน้ำร้อน	127,500
ระบบไอน้ำ (ไม่รวม Trap leaks)	249,000
ระบบไอน้ำ (รวม 10% Trap leaks)	652,000

ค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานประจำปี

ค่าใช้จ่ายสำหรับการใช้พลังงานประจำปี คัดจากอัตราค่าใช้จ่ายที่ใช้กันอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ โดยคิดพลังงานไฟฟ้าที่อัตรา 4.50 cents/KWh , พลังงานไอน้ำและน้ำร้อนที่อัตรา S2.38/GJ (คิดที่ประสิทธิภาพ 80 % ของเครื่องกำเนิดไอน้ำที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ)

	<u>ค่าใช้จ่ายต่อปี S</u>
Electric Tracing	230
Glycol Tracing (น้ำร้อน)	1200
ไอน้ำ (ไม่รวม Trap leaks)	2397
ไอน้ำ (รวม 10 % Trap leaks)	6275

สาเหตุที่ Tracing ที่ใช้ไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบที่ใช้ไอน้ำ และน้ำร้อนก็เพราะว่า ระบบไฟฟ้ามีความคมอุณหภูมิต่ำกว่า ป้องกันมิให้เกิดการสูญเสียของพลังงานความร้อนภายใต้ภาวะการไหลของของเหลว(Flow Condition) นั้นเอง:

ส่วนค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง ไม่ได้นำมาคำนวณ แต่เมื่อพิจารณาถึงโครงสร้างของสาย MI Cables และคุณสมบัติที่สามารถต้านทานภาวะทางกลได้เป็นอย่างดี และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน เมื่อเทียบกับสายแบบ SR นั้น จะมีอายุการใช้งานของสายตามปริมาณอุณหภูมิที่ติดตั้ง คำนึงในระยะยาวแล้ว MI electric heat tracing cables น่าจะเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดในกรณีพิจารณา.

7. สรุป

ในการเลือกใช้ระบบผลิตความร้อนด้วยสายถนวนแร่เปลือกโลหะนี้ เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ผู้ประกอบการหรือวิศวกรอาจนำมาพิจารณาในระบบ เนื่องจากมีข้อดีหลายอย่างที่ต่างจากการเปรียบเทียบกับระบบเก่าที่ใช้ไอน้ำ และน้ำร้อน เช่น การออกแบบที่ง่าย , ความน่าเชื่อถือสูง , ปลอดภัย และที่สำคัญคือ ช่วยประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายในระยะยาว.

กิตติกรรมประกาศ

Thanks to Kathy McKenzie , Tim Popkiss and Marian siczek from MIM Cables Pyrotenax Australia who give me the inspiration for this contribution and provided many details of technical data to me.

ขอขอบคุณ คุณสุดพงศ์ วิมลสุด แห่งบริษัท บีไอซีรี เคเบิล จำกัด ที่ได้เคยแนะนำให้อัจฉริยะกับ MI Cables ขอขอบคุณ อึ้ง จาก กรุปโซโนเคอร์ และ เหมียว จากการมินไทยที่คอยให้กำลังใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. นพพร ลีปรีชานนท์ ,ศิริวัฒน์ โทธิเวชกุล , การวิเคราะห์ความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าในสายเคเบิล , เอกสารประกอบการบรรยาย การประชุมวิศวกรรมทางไฟฟ้าครั้งที่ 17 ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ระหว่าง 1-2 ธันวาคม 2537.
2. IEEE Standard 515-1987 , “Recommended Rpractice for the Testing, Design, Installation, and Maintenance of Electrical Resistance Heat Tracng for Industrial Applications.”
3. Pyrotenax Cables Technical Catalogue , Phillip Cables Limited Canada , “Mineral Insulated Series Type Electric Heat Tracing Systems”



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	ว่าที่เรืออากาศตรี นพพร สิริชานนท์
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 25 สิงหาคม พ.ศ.2512
สถานที่เกิด	จังหวัดนครปฐม
วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถานศึกษา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2535
วุฒิการศึกษาระดับปริญญาโท	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถานศึกษา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2539
ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์	การวิเคราะห์ความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าในสายเคเบิลระบบผลิตความร้อนด้วยสายฉนวนแร่เปลือกโลหะ
ประสบการณ์	<ul style="list-style-type: none"> - วิศวกรสนาม บริษัท วรจักรอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด - ผู้จัดการฝ่ายเทคนิค บริษัท บีไอซีซีเคเบิล(สิงคโปร์)ทีทีอี แอลทีดี - หัวหน้าฝ่ายขายโครงการ บริษัท เอบีบีดีสหรีบิวชั่น จำกัด
อาชีพปัจจุบัน	อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้